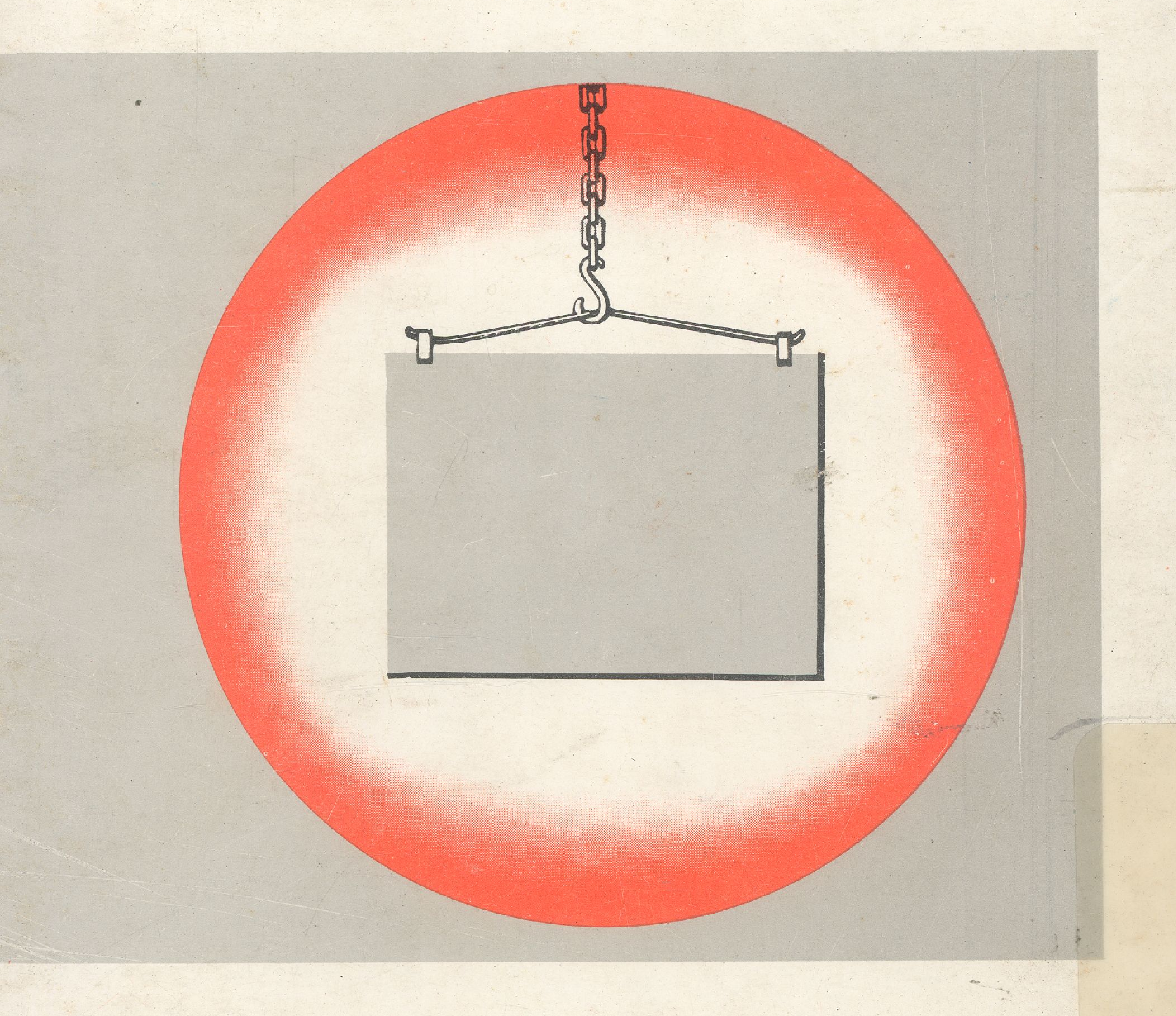
تكنولوچيا الألومنيوم

الجزء الأول



الأسس

التكنولوچية

الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

تكنولوجيا الألومنيوم

الجزء الأول

مهندس سعيد عبد الغفار

مؤسسة الأهرام بالقاهرة

محتويات الكتاب

صفحة

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

يوجد الألومنيوم بكثرة فى الطبيعة ، وهو يتصدر الفلزات جميعاً ، من حيث وفرته فى القشرة الأرضية . وبالرغم من ذلك ، فقد ظل مجهولا قروناً طويلة ، إذ ظلت الإمكانيات البشرية قاصرة عن استخلاص الألومنيوم فلزاً نقياً ، حتّى القرن الماضى . ويرجع ذلك إلى شراهة الفلز الكبيرة للاتحاد بالأكسيجين وغيره من العناصر المختلفة ، ومن ثم كان انتزاعه منها أمراً صعباً .

ولكن ما إن تم اكتشافه عملياً ، والتوصل بطريقة اقتصادية إلى استخلاصه من خاماته ، حتّى شارك بفاعلية وإيجابية فى شتّى نواحى الحياة ، مدنية وعسكرية ، وتبوأ بجدارة مكانة مرموقة ، وأصبح بفضل سبائكه المتعددة ، من أهم المواد الهندسية .

وظهر إلى حيز التطبيق ، عدد لا بأس به من سبائك الألومنيوم المختلفة ، بعضها يتقبل طرق التشكيل بالطرق والسحب ، وبعضها يناسب أساليب التشكيل بالسباكة . كما نتج عن تقدم وتطور الميتالورچيا ، أن أمكن معاملة كل سبيكة على حدة ، بطرائق متعددة ومختلفة ، وبذلك تغير التركيب البلورى للسبيكة نفسها إلى أنماط متباينة ، لكل منها خواص وصفات متنوعة — وقد تتسع الهوة بين هذه الخواص والصفات إلى حد بعيد — مما وسع من نطاق استخدام الألومنيوم وسبائكه .

ويهتم هذا الجزء الأول من الكتاب بميتالورچيا الألومنيوم . فيتعرض الباب الأول لاستخداماته وخواصه ، ويتناول الباب الثانى المراحل المختلفة لإنتاج الفلز ، حتّى الحصول عليه فى كتل نقية صالحة لأغراض التشكيل المختلفة ، بعد إضافة العناصر السبيكية المناسبة . ثم يلقى الباب الثالث الضوء على الميتالورچيا الفيزيقية للفلزات وتطبيقاتها ، كمدخل أساسى للباب الرابع الذى يناقش أساليب المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم . ولأهمية أساليب المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم وتباينها ، كان لزاماً التعرض بشئ من الإسهاب ، لأجهزة التسخين التى تناسب هذه الأغراض . فأفرد لها الباب الخامس .

ولقد خصص الباب السادس لتقديم مجموعة مناسبة من سبائك الألومنيوم المختلفة ، وإدراج خواصها واستخداماتها . ويتناول الباب السابع موضوع تآكل سبائك الألومنيوم وأسبابها ، ومن ثم طرق الوقاية الميتالورچية منها . وأفرد الباب الأخير لدراسة ميتالورچيا المساحيق ، وتطبيقاتها بالنسبة للألومنيوم .

ويشتمل الكتاب على بعض الملاحق الهامة التى لا غنى عنها فى التطبيقات الصناعية والعملية .

والكتاب بصورته هذه ، يتناول موضوعات تخصصية بصورة مبسطة ، تجعله مناسباً للقاعدة العريضة من الملاحظين والفنيين . وفى الوقت نفسه يجد فيه المهندسون مادة علمية ، تتناول شتى الجوانب الميتالورجية للألومنيوم ، خاصة فى هذه المرحلة التى يجرى فيها استكمال تشييد مجمع الألومنيوم الضخم فى جمهورية مصر العربية .

والله سبحانه نسأل أن يوفقنا دائماً إلى ما فيه التوفيق والسداد .

سعيد عبد الغفار

الباب الأول

الألومنيوم : استخداماته وخواصه

يحتل الألومنيوم المرتبة الأولى من بين جميع الفلزات من حيث الوفرة، ويأتى فى المرتبة الثالثة من بين العناصر جميعا ، الجدول (١) ، اذ يأتى بعد الأكسيجين والسيلكون مباشرة ، وهو يكون ٧٫٤٥ ٪ من وزن القشرة الأرضية . ولقد عرف فى الطبيعة – حتى الآن – أكثر من ٢٥٠ خامة معدنية تحتوى على الألومنيوم . ولكن الألومنيوم لم يعثر عليه قط بالحالة الفطرية لشراهته البالغة للأكسيجين ، بل يوجد فى الطبيعة على هيئة مركبات . وتتكون على سطح الألومنيوم الفلزى ، فور تعرضه لأكسيجين الهواء ، طبقة متماسكة من الأكسيد . والواقع أنه لولا تلك الطبقة ، لاحترق فى الجو مشتعلا مثل البوتاسيوم . وعليه ، يمكن القول بأنه ما من أحد يمكنه رؤية الفلز نفسه ، إذ أن ما نراه هو طبقة الأكسيد التى تعتم لمعان الألومنيوم ، وتحميه من المزيد من التأكسد .

وهذه الطبقة من الأكسيد ، هى التى تكسب الألومنيوم مقاومة عالية ، لتأثير بعض السوائل الأكالة ، فلا يؤثر عليه حمض النتريك المركز والأحماض العضوية ، ولكن القلويات يمكنها إذابة طبقة الأكسيد ، معرضة المعدن أسفلها للتآكل والدمار .

وكثافة الألومنيوم منخفضة نسبيا ، إذ تبلغ حوالى ثلث كثافة معظم المعادن التى تنافسه فى مجالات الاستخدامات العملية ، باستثناء عنصرى المغنسيوم والتيتانيوم .

ومازالت منافسة التيتانيوم للألومنيوم فى أضيق الحدود ، وإن كانت قد قويت فى بعض الاستخدامات ، مثل مجال الطيران ، حيث تعمل درجات حرارة التشغيل العالية ، على خفض متانة سبائك الألومنيوم ، إلى الحد الذى تبدو فيه النسبة (المتانة : الوزن) غير عملية فى تلك الاستخدامات .

وقبل توافر التيتانيوم ، اضطلع الصلب المقاوم للصدأ بكثير من المهام فى هذه التطبيقات . ولكن تغطى الآن تشكيلة واسعة مبتكرة من سبائك الألومنيوم – أمكن تصنيعها بفضل مجهودات دؤوبة لجمهرة الباحثين فى هذا الميدان – بعضا من هذه التطبيقات ، متى كانت درجة الحرارة متوسطة نسبيا .

وإذا قورنت أسلاك الألومنيوم مع أسلاك النحاس، يتضح أن الموصل الألومنيومى الذى له نفس المقاومة للتيار الكهربائى ، يكون أخف وزنا من الموصل النحاسى ، وعلى ذلك تلزم حمالات أقل لخطوط نقل القدرة . كما أن المحرك أو المولد الكهربائى الذى تصنع ملفاته من أسلاك الألومنيوم ، يكون أخف وزنا ، من تلك المصنوعة من الأسلاك النحاسية .

هذه المزايا وغيرها ، تجعل من الألومنيوم الفلز المفضل فى العديد من الأعمال الهندسية على اختلاف تخصصاتها ، فهو يستخدم فى الهندسة الكهربائية، فى صورة أسلاك، وكابلات، وموصلات ، ومكثفات ، ومقومات تيار ، وأجهزة . وتستعمل فى هندسة الراديو ، رقائق من الألومنيوم لا تزيد فى سمكها على ورق تغليف السجائر ، وأسلاك من الألومنيوم أدق من خيط العنكبوت .

وتعتبر صناعة الطيران ، أكبر مستعمل للألومنيوم وسبائكه ، حيث تصنع منها هياكل الطائرات الحديثة . ويؤدى استخدام سبائك الألومنيوم فى بناء السفن ، إلى زيادة حمولة السفن ، أو إلى تقليل غاطسها ، وللصفة الأخيرة أهمية كبيرة فى الملاحة النهرية ، حيث كثافة الماء أقل .

وتستخدم كميات كبيرة من سبائك الألومنيوم فى صناعة السيارات ، والأتوبيسات ، وعربات السكك الحديدية . ولقد أصبحت سبائك الألومنيوم مادة رئيسية فى صناعة محركات الاحتراق الداخلى المختلفة ، خاصة تلك التى تبرد هوائيا ، حيث ينبغى أن تكون ذات موصلية عالية للحرارة ، إلى جانب خفة وزنها .

كذلك يستخدم الألومنيوم وسبائكه فى صناعة آلات ومعدات التصوير السينمائى والفوتوغرافى ، وأجهزة الراديو ، وفى صنع أثاث خفيف الوازن ، يمتاز بمتانته ورونقه .

وفى الهندسة الكيميائية ، يستفاد من مقاومة التآكل العالية للألومنيوم ، فى صنع أجهزة إنتاج حمض النتريك ، وكثير من المواد العضوية ، والمنتجات الغذائية وغيرها .

ولقد استخدم الألومنيوم وسبائكه ، فى صنع العديد من أجزاء هياكل الأقمار الصناعية . كما يستخدم فى صنع أوعية حمض الخليك ، وحمض الزيتيك ، وحمض السيتاريك ، وغيرها من الأحماض العضوية ، وفى صنع معدات انتاج حمض البوريك ، والدهون ، والكحولات ، والزيوت ، والورنيشات ، والحرير الاصطناعى ، والأثيرات ، والجليسرين وغيرها .

ولألفة الألومنيوم الكبيرة للاتحاد بالأكسيجين ، فهو يستطيع اختزال معظم الفلزات من أكاسيدها ، مما مكن من الحصول على الفلزات النادرة كالكروم ، والفاناديوم ، والسترنشيوم ، والباريوم ، والليثيوم ، وغيرها . وتستخدم الأنواع الرديئة من الألومنيوم فى عملية إزالة الأكسدة ، ونزع الأكسيجين فى بعض أنواع الصلب .

وكثيرا ما يستخدم الألومنيوم عالى النقاوة ، أو بعض سبائكه الخاصة ، فى صناعة عاكسات الضوء والمرايا ، إذ يكتسب الألومنيوم وبعض سبائكه الخاصة ، قوة عاكسة كبيرة بعد تلميعها كيميائيا ، أو بوساطة التحليل الكهربائى .

وتستخدم مركبات الألومنيوم المختلفة ، فى كثير من فروع الصناعة ، فيستخدم الكورندم ، وتركيبه أكسيد الألومنيوم ($لو_2أ_3$) ، فى صنع أقراص التجليخ ، إذ أنه من أفضل مواد التجليخ . ويستخدم أكسيد الألومنيوم النقى فى صناعة المواد المقاومة للحرارة العالية «الحراريات»

ذات الأداء الممتاز ، والياقوت الاصطناعى ، والأنواع الجيدة من أسمنت الأسنان . أما كلوريد الألومنيوم اللامائى ، فيستخدم عاملا حفازا فى عمليات تكرير البترول . وتستخدم كبريتات الألومنيوم لو$_2$ (كب أ$_4$)$_3$ ، مادة لترشيح الماء عند تنقيته، كما يستخدم الشب ، وهو كبريتات مائية للألومنيوم والبوتاسيوم، فى صناعة الغزل والنسيج ، وفى صناعة دبغ الجلود وصناعة الورق.

خواص الألومنيوم

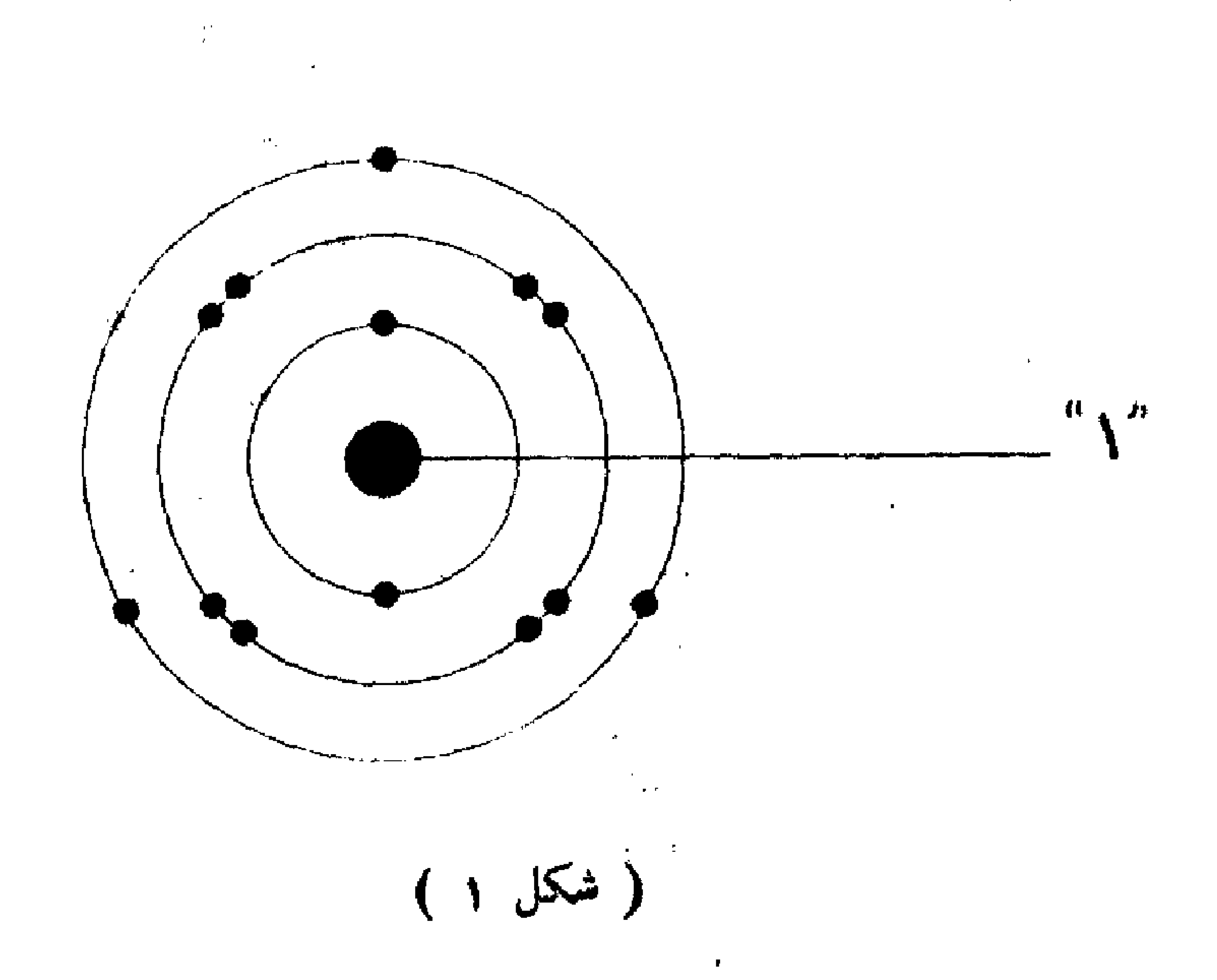
الخواص الفيزيقية :

* التركيب الذرى : عنصر الألومنيوم ، رمزه الكيميائى لو، وعدده الذرى ١٣ ،أى أن ذرة الألومنيوم تحتوى على ١٣ إلكترونا ، يحمل كل منها شحنة كهربائية سالبة واحدة ، وتترتب هذه الإلكترونات فى مدارات ثلاثة حول نواة تتركز فيها ١٣ شحنة كهربائية موجبة .

وتترتب الإلكترونات فى المدارات المختلفة طبقا للقانون الرياضى التالى :

عدد الإلكترونات فى المدار = ٢× (رقم ترتيب المدار)^2 .

وعليه فإن عدد الإلكترونات فى المدار الأول ٢ ، وفى المدار الثانى ٨ ، وتتبقى ثلاثة إلكترونات تسبح فى المدار الخارجى ، وهى التى تحدد تكافؤ عنصر الألومنيوم . ولذلك فالألومنيوم ثلاثى التكافؤ ، الشكل (١) .



(شكل ١)

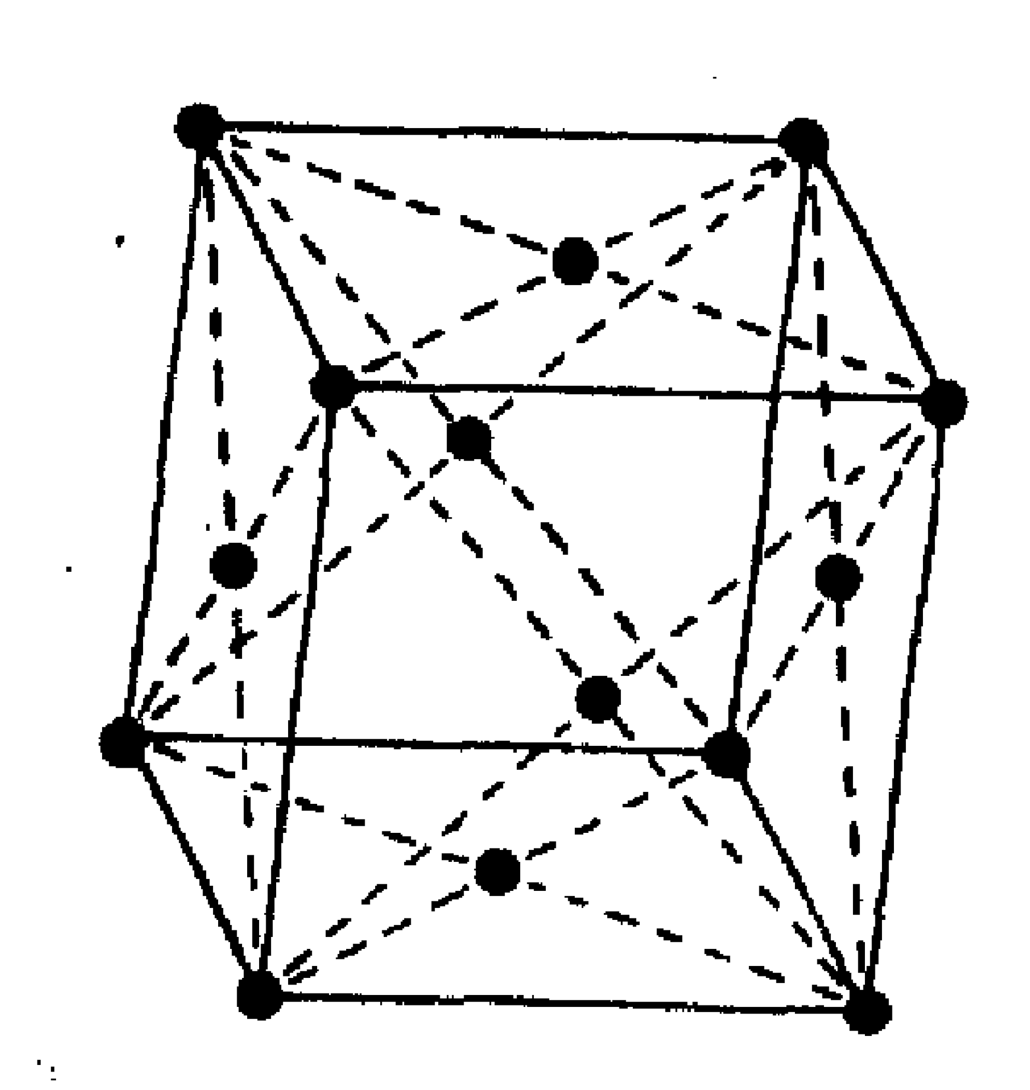
١ – نواة
العدد الذرى ١٤
الشحنة الكهربائية + ١٣
التكافؤ ٣

* التركيب البلورى : عندما تتحول الفلزات المنصهرة إلى حالة الصلابة،فإنها تتخذ أنماطا بلورية . وتعمل الذرات والجزيئات على ترتيب نفسها فى أوضاع محددة ، متماثلة الانتظام بالنسبة

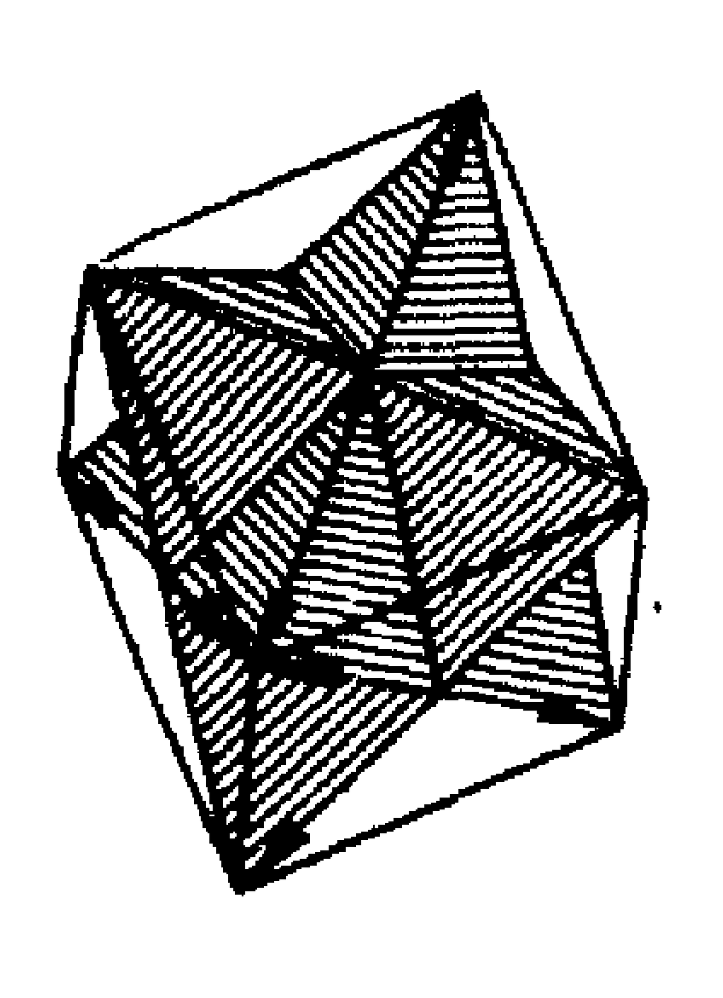
لبعضها بعضا . وتنتظم ذرات الألومنيوم فى بلورات يكون هيكلها الهندسى مكعبا متمركز الوجه (كما فى الشكل ٢) . ولهذا فهو من أكثر الفلزات قابلية للاستطالة ، لتعدد مستويات الانزلاق به ، إذ يحظى هذا النسق البلورى – المكعب متمركز الوجه – بأكبر عدد متاح من مستويات الانزلاق اللازمة لإحداث الاستطالة (كما فى الشكل ٣) . ويبلغ طول ضلع الهيكل البلورى المكعب الشكل للألومنيوم بالغ النقاوة : ٤,٠٤×١٠^-٨ سم .

* الكثافة : تعتبر خفة الوزن هى السمة الرئيسية ، والخاصة المميزة لفلزالألومنيوم ، وبها تفوق على جميع أقرانه من الفلزات . ويبلغ الوزن الذرى * لهذا الفلز ٢٦,٩٧ ، ووزنه النوعى ٢,٧٠ وهو كسائر الفلزات ، تتناقص كثافته بارتفاع درجة الحرارة . ولا تتأثر كثافة الألومنيوم ** ، بصورة جوهرية ، بإضافة فلزات أخرى كعناصر سبيكة إليه ، لإنتاج السبائك التى يجرى استخدامها فى شتى الميادين .

وخفة وزن الألومنيوم لها أهمية كبيرة فى جميع التطبيقات التى تتعرض لحركة . ويتيح الاقتصاد فى الوزن ، إمكانية استخدام أحمال أكبر ، أو اقتصاد أكثر فى التشغيل ، وكفاءة



(شكل ٢)
النسق البلورى للألومنيوم ، مكعب متمركز الوجه



(شكل ٣)
مستويات الانزلاق لبلورة الألومنيوم يتضح من الشكل أن هذا النمط البلورى (المكعب متمركز الوجه) يتمتع بأكبر عدد متاح من مستويات الانزلاق القطرية (١ ، ١ ، ١)

أعلى فى أداء الأجزاء المتحركة ، كما لا يتعرض من يعمل يدويا بأدوات من الألومنيوم ، للإجهاد بسرعة .

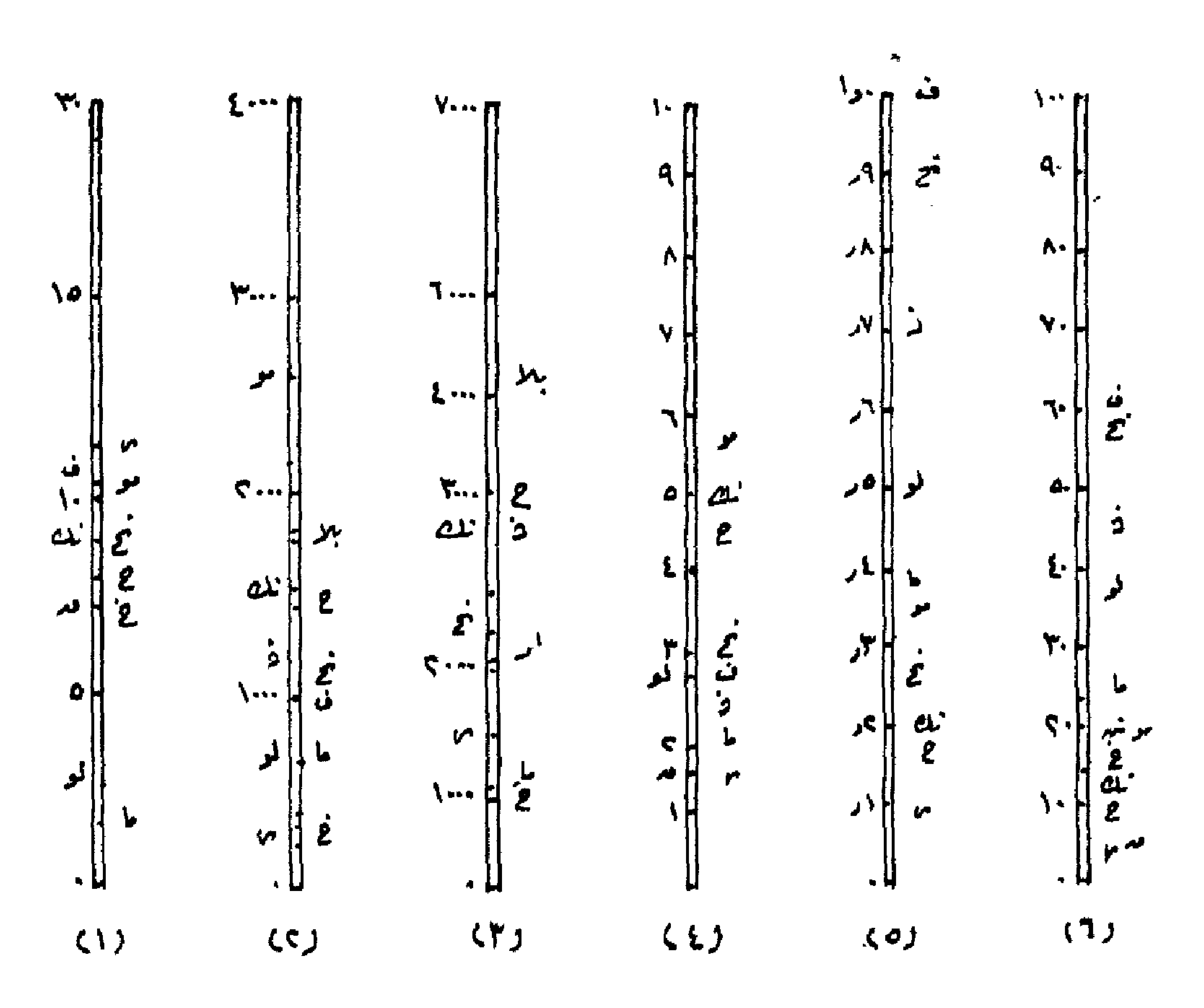
وبسبب خفة وزن الألومنيوم ، فإن الموصلية الكهربائية لوحدة الكتلة من الألومنيوم النقى ، تبلغ ٢١٢,٩٪ مقارنة بمثيلتها للنحاس المخمر ، ولذلك فهى عالية ، وتفوق غيرها لأى فلز آخر . وتنخفض الموصلية الكهربائية للألومنيوم بعض الشئ ، بإضافة بعض العناصر السبيكية إليه .

ويتميز الألومنيوم بموصلية عالية للحرارة ، ولكنها تقل قليلا بإضافة عناصر سبيكية إليه .

وللألومنيوم التى معامل تمدد حرارى يبلغ ضعف المعاملات الحرارية للمعادن الحديدية ، ويزيد قليلا على مثيله للنحاس وسبائكه .

ولمعظم العناصر السبيكية التى تضاف إلى الألومنيوم ، تأثير ضئيل على معامل تمدده الحرارى . ولكن إضافة نسبة عالية- نسبيا- من السيليكون ، تعمل على إنقاص قيمة هذا المعامل إنقاصا ملموسا.

ويوضح الشكل (٤) مقارنة لوضع الألومنيوم من حيث خصائصه بين أقرانه من الفلزات الأخرى.



(شكل ٤)

مقارنة بين الخواص الطبيعية الأساسية للألومنيوم مع غيره من الفلزات الأخرى

١ - الكثافة عند ٢٠°م (جم /سم^{3})　　٢ - درجة الانصهار °م

٣ - درجة الغليان °م　　٤ - الصلادة بالتدريج العشرى

٥ - الموصلة الكهربائية عند ٢٠°م أوم$^{-1}$ سم$^{-1}$

٦ - الموصلة الحرارية ما بين صفر ، ١٠٠°م كالورى /سم/سم^{2}/°م/ث .

---

* الوزن الذرى لعنصر = $\frac{\text{وزن ذرة العنصر}}{\text{وزن ذرة الهيدروجين}}$

** انظر الملحق رقم (٧)

ويبين الجدول (١) خواص الألومنيوم الفلزى (نسبة الألومنيوم ٩٩,٩٩٦٪ على الأقل) ، كما يبين الجدول (٢) التركيب الذرى والبلورى للألومنيوم الفلزى .

جدول (١)

خواص الألومنيوم الفلزى (عالى النقاوة)

معامل المرونة	٧٢٤٠ كجم/م٢
معامل الجسوءة	٢٧١٠ كجم/م٢
نسبة « بواسون »	٠,٣٣
العاكسية للضوء الأبيض (٪)	٨٥—٧٥
العاكسية للحرارة (٪)	٩٥—٨٥
التأثرية المغنطيسية	٠,٨٥×١٠$^{-٦}$
المقاومة الكهربائية عند صفر° م	٢,٤٤ ميكرو أوم/سم٣
المقاومة الكهربائية عند ٢٠° م	٢,٦٧ ميكرو أوم/سم٣
الموصلية الكهربائية الحجمية عند ٢٠°م (كنسبة مئوية من النحاس المخمر)	٦٤,٦
الموصلية الكهربائية الكتلية عند ٢٠°م (كنسبة مئوية من النحاس المخمر)	٢١٢,٩
المكافئ الكهروكيميائى	٠,٣٣٥٤ جرام/أمبير. ساعة
الجهد الإلكترودى عند ٢٥ م°	—١,٦٩ ڤولت
نقطة الانصهار	٦٥٨°م
نقطة الغليان	١٨٠٠°م
الموصلية الحرارية (من صفر إلى ١٠٠ م°)	٠,٥٢ كالورى/سم/سم٢/°م/ثانية
حرارة الاحتراق	٣٨٠,٠٠٠ كالورى/جرام جزيئى
الحرارة الكامنة للانصهار	٩٣ كالورى / جرام
الحرارة الكامنة للتصعيد (محسوبة نظريا)	٢٠٠٠ كالورى / جرام
الانكماش فى الحجم من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة عند درجة الانصهار (٪)	٦,٧
الانكماش فى الحجم من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة عند ٢٠°م (٪)	١١,٩
الانكماش فى الحجم فى الحالة الصلبة عند نقطة الانصهار إلى ٢٠°م (٪)	٥,٦

جدول (٢)

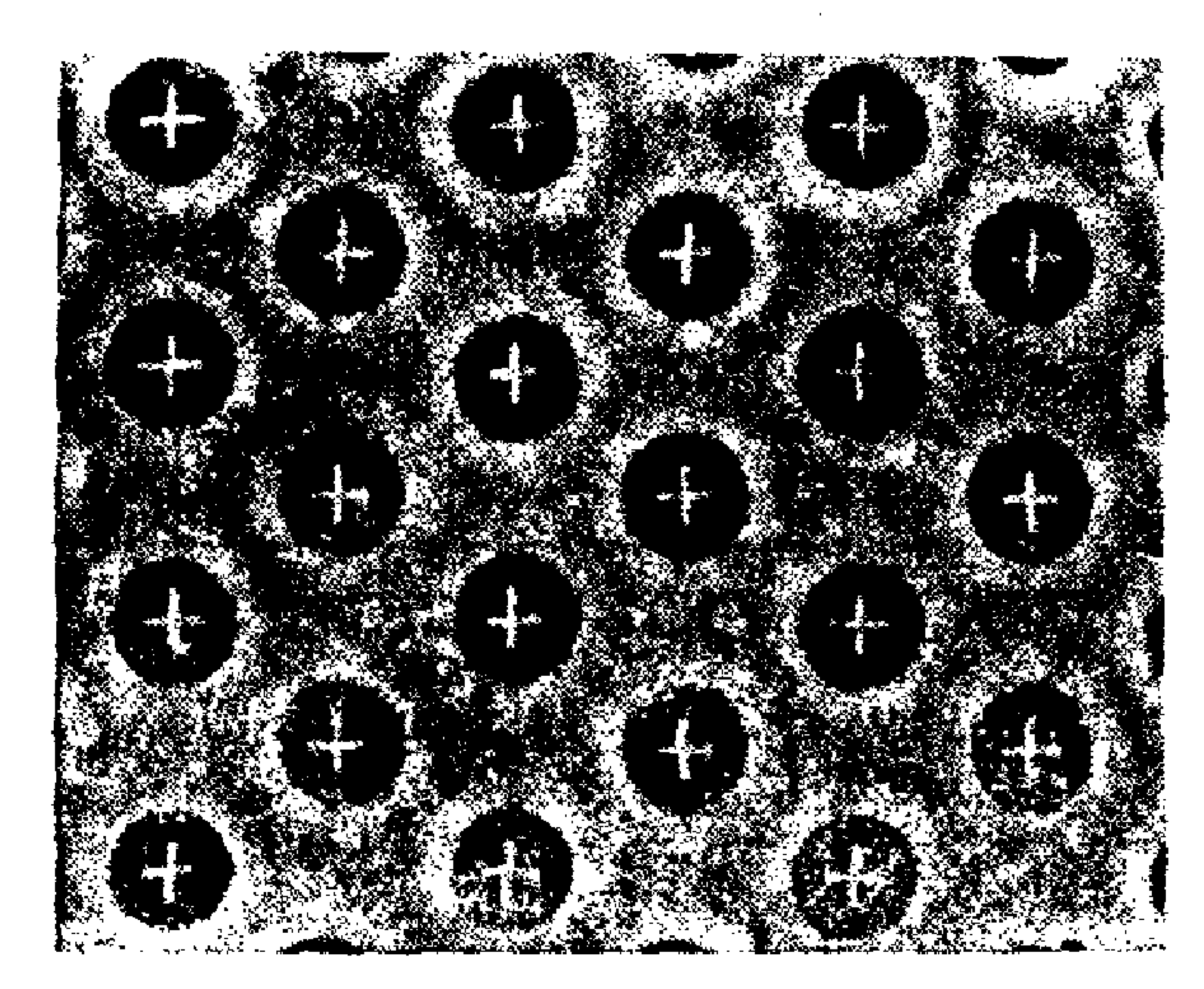
التركيب الذرى والبلورى للألومنيوم عالى النقاوة

الرمز الكيميائى	لو
الشحنة الكهربائية للنواة	+ ١٣
العدد الذرى	١٣
ترتيب الإلكترونات داخل الذرة	(٢)(٨) ٣
التكافؤ	٣
الوزن الذرى	٢٦,٩٧
الحجم الذرى	١٠,٠ سم^{٣}/جرام ذرى
النظائر	لا توجد
التركيب البلورى	مكعب متمركز الوجه
طول ضلع الشبكة البلورية	٤,٠٤×١٠$^{-٨}$سم

الخواص الكيميائية :

* **التأكسد الجوى :** للألومنيوم الفلزى مقدرة هائلة على التأكسد لحظيا فور تعرضه للهواء الجوى ، مكونا طبقة رقيقة من الأكسيد المتماسك الصلد ، تعلو سطحه اللامع فتطفئ بريقه . وتقوم هذه الطبقة من الأكسيد ، بحماية ووقاية الفلز من المؤثرات الخارجية ، وينفرد الألومنيوم بهذا السلوك ، ولا يشبه فيه غيره من الفلزات .

* **التآكل الجلفانى :** ويعرف أيضا بالتآكل الكهروكيميائى، وينشأ بصفة عامة نتيجة لتولد تيار كهربائى يبدأ فى السريان عند حدوث تفاعل بين المعدن والإلكتروليت المحيط به . وتتكون الشبكة البلورية للمعدن ، من أيونات موجبة الشحنة (كاتيونات) موجودة بأركان الشبكة البلورية ، وإلكترونات حرة متحركة تسبح فى كل حجم المعدن (كما فى الشكل ٥) . ومن الممكن أن تنفصل الكاتيونات عن سطح المعدن ، وتنتقل إلى الوسط المجاور ، أى الإلكتروليت .



(شكل ٥)

تركيب الألومنيوم ، وهو مثل تركيب جميع الفلزات ، يتألف من أيونات موجبة الشحنة تعرف بالكاتيونات ، يشار إليها فى الشكل بالرمز + وتقع على أركان الشبكة البلورية ، وتحاط بسحابة من الإلكترونات الحرة التى تسبح فى كل حجم المعدن

وفرق الجهد الناشئ ، عند سطح تلامس المعدن مع الإلكتروليت ، وهو الدال على نزعة الفلز للذوبان ، يسمى « الجهد القطبى » وتتوقف قيمته أساسا على تركيب الالكتروليت .

ويحدد الجهد القطبى للفلزات تجريبيا، مقيسا بالمقارنة بجهد الهيدروچين الذى اعتبر مساويا للصفر . ويبين الجدول (٣) الجهد القطبى لبعض الفلزات مقاسا بالنسبة للقطب الهيدروجينى . ومن الجدول نرى أن الفلزات الموجودة فوق الهيدروچين تكون ذات جهد موجب ، ولذلك فهى صعبة الذوبان ، فى حين أن المعادن الموجودة تحت الهيدروجين تكون أكثر قابلية للذوبان ، كلما كان جهدها السالب أكبر . وهذا هو السبب فى أن المعادن النقية ، والسبائك وحيدة الصنف ، تقاوم التآكل الكهروكيميائى جيدا ، أما السبائك التى تتكون بنيتها من عدة عناصر لها جهود مختلفة ، فهى تتعرض للتآكل الكهروكيميائى بسهولة ، وسرعان ما تبدأ فى التدهور والانهيار ، إذ يمكن اعتبارها مكونة من خلايا كهربائية متناهية الصغر، متعددة الأقطاب . كما أن الأجزاء التى تصنع من عدة مواد معدنية مختلفة الجهود ، هى فى الواقع خلايا كهربائية متناهية الصغر ، حيث يكون المعدن المنخفض الجهد هو الأنود (المصعد) ويتآكل ، بينما لا يتآكل المعدن الأعلى جهدا لقيامه بدور الكاثود (المهبط) .

جدول (٣)

القيم القياسية للجهد القطبي لبعض الفلزات

العنصر	الجهد العادى بالنسبة للهيدروچين	العنصر	الجهد العادى بالنسبة للهيدروچين
الذهب	+ ١٥٠	الكوبلت	– ,٢٧
الزئبق	+ ٠,٨٦	الحديد	– ٠,٤٣٩
الفضة	+ ٠,٨٠	الكروم	– ٠,٥١
النحاس	+ ٠,٣٣٤	الزنك	– ٠,٧٦٢
البزموت	+ ٠,٢٢١	المنجنيز	– ١,١
الأنتيمون	+ ٠,٢٠٠	الألومنيوم	– ١,٣
الهيدروچين	صفـــر	المغنسيوم	– ١,٥٥
الرصاص	– ٠,١٢٧	الصوديوم	– ٢,٧١
القصدير	– ٠,١٣٦ –	الكلسيوم	– ٢,٧٦
النيكل	– ٠,٢٣	البوتاسيوم	– ٢,٩٢

ويبين الجدول (٤) الجهد القطبى لبعض الفلزات والسبائك ، مقيسا فى محلول لكلوريد الصوديوم . وقد اختير هذا المحلول هنا لأهميته فى الحياة العملية ، وليكون مؤشرا لمسلك الفلز وسبائكه من حيث التآكل الجلفانى ، وكذلك ليعطى فكرة عن وضعها بالنسبة لبعض الفلزات والسبائك الأخرى .

جدول (٤)

الجهد القطبي لبعض الفلزات والسبائك

مقيساً فى محلول لكلوريد الصوديوم(١)

الفلز أو السبيكة *	الجهد بالفولت(٢)
المغنسيوم	− ١٫٧٣
الزنك	− ١٫٠٠
سبيكة الألومنيوم ١٨ د (للمسبوكات)	− ٠٫٩٦
سبيكة الألومنيوم ١٦ د (للمسبوكات)	− ٠٫٨٧
سبيكة الألومنيوم ١٤ د (للتشكيل)	− ٠٫٨٧
الألومنيوم الفلزى (عالى النقاوة)	− ٠٫٨٥
سبيكة الألومنيوم ١٢ حـ (للتشكيل)	− ٠٫٨٥
سبيكة الألومنيوم ب (ألومنيوم نقى تجاريا لأغراض التشكيل)	− ٠ ٨٣
سبيكة الألومنيوم ١٢ د (للمسبوكات)	− ٠٫٨٣
الكادميوم	− ٠٫٨٢
سبيكة الألومنيوم ٢١ د (للمسبوكات)	− ٠٫٨١
سبيكة الألومنيوم ٢٠ د (للمسبوكات)	− ٠٫٧٨
سبيكة الألومنيوم ١٣ د (للمسبوكات)	− ٠٫٧٠
سبيكة الألومنيوم ٦ حـ (للتشكيل)	− ٠٫٦٨
الصلب الطرى	− ٠٫٦٧
الرصاص	− ٠٫٥٥
القصدير	− ٠٫٤٩
النحاس الأصفر (سبيكة من النحاس والزنك بنسبة ٦٠ ، ٤٠ ٪)	− ٠٫٢٨
النحاس	− ٠٫٢٠
الصلب المقاوم للصدأ (١٨–٨)	− ٠٫١٥
معدن مونيل (سبيكة أساسها النحاس والنيكل)	− ٠٫١٠
الفضة	− ٠٫٠٨
النيكل	− ٠٫٠٧
الأنكونل (سبيكة من النيكل والكروم والحديد)	− ٠٫٠٤

* الأرقام والرموز الملحقة بسبائك الألومنيوم ، يقتصر تداولها فى هذا الكتاب فقط ، وتدل على سبائك بتركيب كيميائى معين ، ويمكن الرجوع إلى الباب الخامس لمعرفة التركيب الكيميائى لسبائك الألومنيوم .

(١) عند اقتران فلزين سويا فى محاول موصل ، فإن الفلز الذى يكون جهده القطبى أكثر سالبية فى هذا المحلول ، يكون بمثابة المصعد بالنسبة للفلز الآخر ، ومن ثم فهو يميل للذوبان فى المحلول . وفى مثل هذه الحالة ، يتكون ما يشبه المركم ، حيث يبدأ تيار كهربائى فى السريان من الفلز الأكثر سالبية خلال المحلول إلى الفلز الآخر .

(٢) مقيسا فى محلول عيارى (٥,٨٥٪) من محلول كلوريد الصوديوم يحتوى على ٠,٣٪ من فوق أكسيد الهيدروجين (٠,١ عيارى) .

ويحدث تآكل للألومنيوم عند تلامسه لفترة كافية مع غيره من الفلزات التى تليه فى السلسلة الكهروكيمائية ، ويتم ذلك فى وجود وسط إلكتروليتى . وعليه فإنه يمكن مقاومة هذا التآكل الجلفانى ، عن طريق فصل الأسطح المتجاورة باستخدام دهان وقائى مثلا ، وبالمحافظة على جفاف الأسطح المتلامسة ، أو بالطلاء الكهربائى للأسطح ، أو بطلاء المواد الملامسة للألومنيوم بمسحوق الألومنيوم ، وذلك حتى ينعدم أى اختلاف فى الجهد القطبى ، بين سطحى الفلزين المتجاورين .

* التآكل الكيميائى :

يمكن تقسيم التآكل الكيميائى إلى ثلاثة أنواع : تآكل منتظم ، وتآكل موضعى ، وتآكل بين البلورات .

(ا) التآكل المنتظم :

وتبدو مظاهره فى تآكل منتظم للمعدن يشمل كل سطحه ، ويحدث ذلك فى المعادن أو السبائك وحيدة الصنف (المعادن النقية ، والمحاليل الجامدة ، والمركبات الكيميائية) .

(ب) التآكل الموضعى :

ويتآكل أثناءه المعدن فى مواقع متفرقة من السطح ، ويحدث هذا النوع من التآكل أساسا فى السبائك متعددة الأصناف ، لكنه يحدث أيضا فى السبائك وحيدة الصنف ، وبدرجة أقل فى المعادن النقية تجاريا . كما يحدث بسبب الخدوش والحزوز السطحية ، لنشوء ظروف مواتية لتكوين خلايا كهربائية متناهية الصغر .

(ج) التآكل بين البلورات :

ويتميز بانتشار التآكل على حدود الحبيبات ، وترجع خطورة هذا النوع من التآكل ، إلى أنه يتغلغل فى المعدن دون أن يظهر أى تغير ملموس على السطح ، وتتعرض سبائك الألومنيوم لهذا النوع من التآكل ، إذ تنشأ أصناف (أطوار) حديثة التكون ، وتنتشر على حدود الحبيبات وداخلها ، وتهيىء ظروفا تشجع على حدوث مثل هذا النوع من التآكل .

ويمكن الرجوع إلى الملحق (١) لمعرفة تأثير الكيماويات المختلفة على سبائك الألومنيوم ، وقد جمعت هذه الإرشادات استنادا إلى الخبرة العملية ، أو هي ثمرة تجارب معملية ، وتهدف إلى إعطاء فكرة مبدئية في هذا المجال . ولكن يجب تدعيمها بالتجارب المتواصلة ، لتعزيز صلاحيتها ، إذ تتباين ظروف الاستخدام على نحو واسع . فمثلا الشوائب (سواء المعروف منها أو غير المعروف) في الكيماويات المعقدة ، قد تسبب التآكل .

وهناك مثبطات للتآكل الكيميائي كسيليكات الصوديوم ، أو كرومات الصوديوم ، يؤدي استخدامها إلى التوسع في استعمال الألومنيوم .

الباب الثـــانى

انتاج الألومنيوم

صناعة الألومنيوم من الصناعات المعدنية مرتفعة التكاليف ، وتعتمد على أساليب تكنولوجية متقدمة . كما أن إنتاج الألومنيوم يتوقف أساسا ، وبصفة مباشرة ، على توافر الطاقة الكهربائية ، فلا يمكن أن تقام صناعة للألومنيوم فى بلد يفتقر إلى الكهرباء ، أو لا تتوافر فيه الطاقة الكهربائية بسعر زهيد ، فالألومنيوم مدين للـكهرباء بمكانته الرفيعة ، كمادة هندسية لهـا شأنها .

مراحـل إنتـاج الألومنيوم

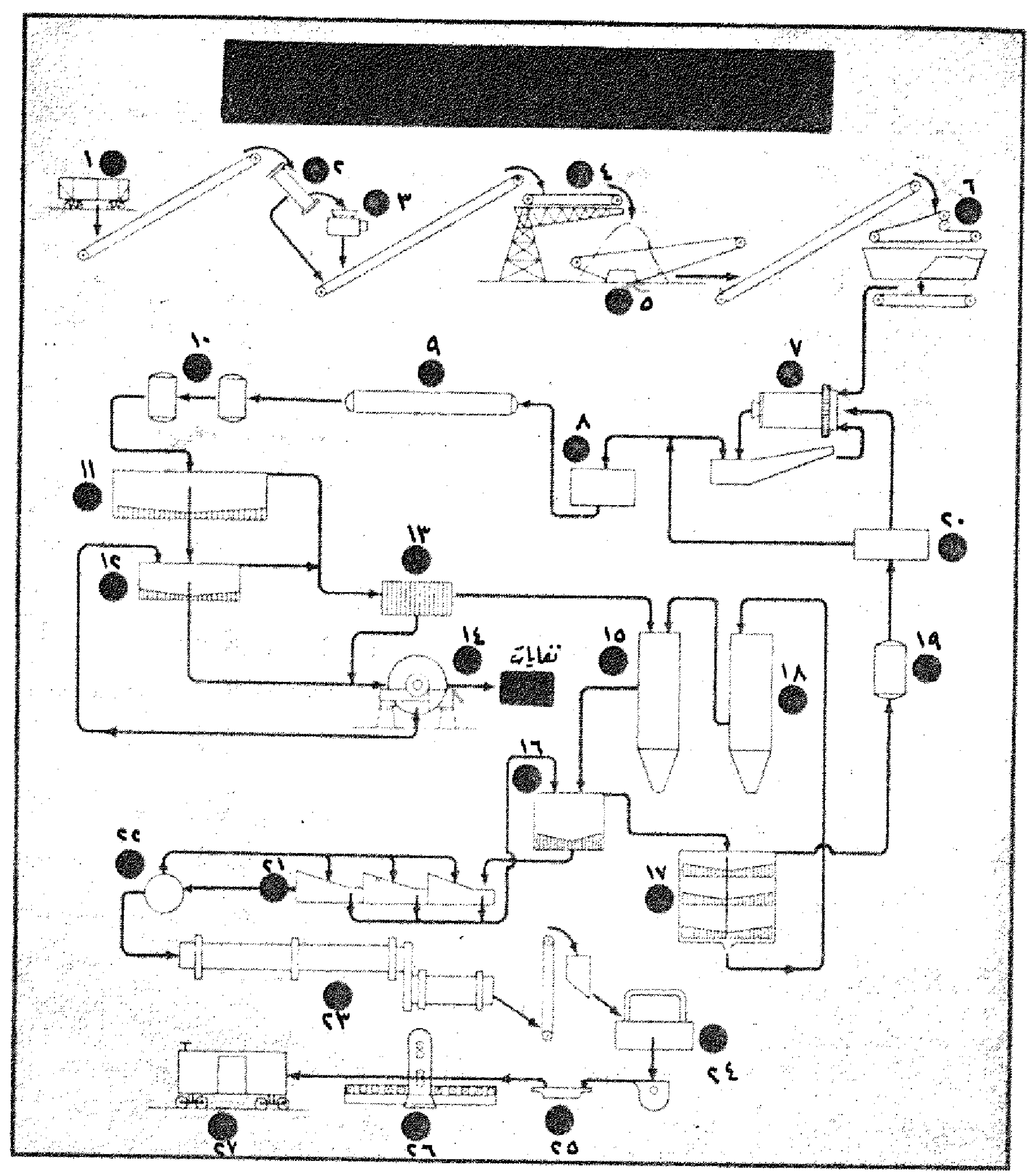
يمر إنتاج الألومنيوم بمراحل متعددة ، وهى تختلف جذريا عن مراحل إنتاج غيره من الفلزات الأخرى ، فمصنع الألومنيوم يختلف اختلافا جوهريا عن مصنع الحديد والصلب ، أو مصنع للرصاص ، أو النحاس . كما أن طريقة استخلاص هذا الفلز تختلف كلية عن طريقة استخلاص الفلزات الأخـــرى .

وتبدأ أولى مراحل الإنتاج ، بتجهيز خام الألومنيوم بعد تعدينه وإعداده ليكون مركزا ، حتّى تنخفض تكاليف استخلاص الفلز وتصبح اقتصادية . ويتّم ذلك بعمليات تكسير وطحن، ثم تصنف أحجامه ، وتركز الأحجام الناعمة بطرق التعويم ، أو طرق التركيز الأخرى ، وعندئذ يتّم الحصول على الخـــام مركزا ، ويكون معدا للمرحلة التالية ، وهى الحصول على أكسيد الألومنيوم (الألومينا) بصورة تكاد تكون نقية ، استعدادا لصهره ، ويجرى ذلك بمعالجة الخـــام المركز فى أوعية هاضمة ، وبالاستعانة بعوامل كيميائية ، تذيب الألومينا دون غيرها .

وهناك ثلاث طرق مختلفة يمكن تطبيقها لحصول على الألومينا بصورة نقية : الطريقة الأولى كهروحرارية ، أى باستخدام الكهرباء فى توليد كية حرارة هائلة ، تكفى لإتمام تفاعلات كيميائية ، ينفرد خلالهـا الألومنيوم ، وتعتمد الطريقتان الأخريان على الخاصة التّرددية للألومينا ، فالألومينا أكسيد أمفوتورى ، أى مترددذو وجهين ، يتفاعل مع الحمض كقاعدة ، كما يتفاعل مع القاعدة كحمض ، وأكثر الطريقتين الحمضية والقلوية انتشارا ، هى الطريقة القلوية .

ويبين الشكل (٦) الخطوات التوضيحية للمراحل المختلفة ، إبتداء من الخام ، حتّى الحصول على كتل من الألومنيوم النقى .

وتتضمن هذه الخطوات عمليات ميتالورجية فيزيقية وكيميائية، ابتداء من البند (١) حتّى البند (٢٣) (فى الشكل) . ويمثل البندان (٩ ، ٢٤) فقط العمليات الميتالورجية الكيميائية



(شكل ٦) المراحل المتعاقبة للعمليات الميتالورجية الفزيقية والكيميائية لحصول على كتل الألومنيوم ابتداء من خام البوكسيت :

١ — عربات سكك حديدية
٢ — منخل (هزاز)
٣ — طاحونة المطارق (الشواكيش)
٤ — ناقـل
٥ — المخزون الاحتياطي وخط السحب
٦ — توزيع الخام على طبقات فى البناكر
٧ — طاحونة (الكور) ومصنف
٨ — صهريج الردغة (الطينة)
٩ — هاضمات بخارية
١٠ — صهاريج أعتاق الضغط
١١ — مغلظات الطينة الحمراء
١٢ — مغلظـات
١٣ — مروقـات
١٤ — مرشحـات
١٥ — مرسبات
١٦ — مرسبات مائيـة
١٧ — مغلظ اسطواني
١٨ — صهريج
١٩ — مبخر رباعي التأثير
٢٠ — صهريج تخزين المحلول الضعيف
٢١ — مصنف ثلاثي المراحل
٢٢ — مزيلات المـاء
٢٣ — قائن دوارة ومبردات
٢٤ — خلايا إلكتروليتية
٢٥ — كتل الألومنيـوم

فى هذه المراحل ، حيث تستخدم أوعية هاضمة (٩) تذيب الألومينا فى مركب كيميائى يذوب فى الماء ، والخلايا الإلكتروليتية (٢٤) التى تستخدم فى التحليل الكهربائى للألومينا لحصول على الألومنيوم فى صورته النقية .

ويوجد الأكسيد المتميء فى صورتين : هيدرات ثلاثية (تحتوى على ثلاثة جزئيات من الماء) ، وهيدرات أحادية (جزىء واحد من الماء). ويمكن التعبير عن الصورتين فى صيغة كيميائية كما يلى :

ثلاثى الهيدرات : لو$_{٢}$أ$_{٣}$، ٣ يد$_{٢}$أ ، ويمكن التعبير عنه كهيدروكسيد فى الصيغة لو(أيد)$_{٣}$ ، حيث يمكنه التفاعل مع الحمض كقاعدة لوجود الشق (أيد)$^{-}$ ، كما يمكن التعبير عنه فى الصيغة يد$_{٣}$ لوا$_{٣}$ (حمض الأرثو ألومينيك) ، حيث يمكنه التفاعل مع القاعدة لوجود الشق (يد)$^{+}$.

أحادى الهيدرات : لو$_{٢}$ أ$_{٣}$ ، يد$_{٢}$ أ ، ويمكن التعبير عنه كهيدروكسيد فى الصيغة يد لوأ$_{٢}$ (حمض الميتاألومينيك) ، حيث يمكنه التفاعل مع القاعدة لوجود الشق (يد)$^{+}$.

وتتجلى السمة الترددية فى التفاعلين الآتيين :

لو$_{٢}$أ$_{٣}$، ٣ يد$_{٢}$أ + ٦ يد كل (حمض) = ٢ لو كل$_{٣}$ + ٦ يد$_{٢}$ أ

لو$_{٢}$أ$_{٣}$، ٣ يد$_{٢}$أ + ٢ ص أ يد (قاعدة) = ص$_{٢}$أ ، لو$_{٢}$ أ$_{٣}$ + ٤ يد$_{٢}$ أ

كما يتفاعل أكسيد الألومنيوم لو$_{٢}$ أ$_{٣}$ ، ن يد$_{٢}$ أ (ن : عدد جزيئات ماء التبلور) عند درجات حرارة مرتفعة مع المركبات الكيميائية المختلفة لفلزات الأقلاء الأرضية ، مكونا الألومينات المناظرة للفلز (ميتا ألومينات) . ويستفاد من هذه الخواص فى اتباع الطرق المختلفة لإنتاج الألومينا .

وفى الطريقة الحمضية لإنتاج الألومينا ، يعالج الخام بمحلول أحد الأحماض المعدنية (حمض الكبريتيك يد$_{٢}$ كب أ$_{٤}$ ، أو حمض الهيدروكلوريك يد كل ، أو غيرهما) ، وينتج عن ذلك ملح الألومنيوم المناظر للحمض ، وتترسب الكتلة الأساسية للشوائب فى محلول الحمض دون أن تتذاوب فيه . وبعد فصل الشوائب غير الذائبة ، يحلل محلول ملح الألومنيوم ، لفصل هيدوركسيد الألومنيوم ، حيث يجرى تكليسها للحصول على الألومينا .

وفى هذه الطرق الحمضية ، لا تذوب السيليكا فى محول الحمض المعدنى ، ولذلك تنفصل الألومينا عن السليكا بسهولة ، وبدرجة كافية نسبيا . إلا أن أكاسيد الحديد والتيتانيوم تنتقل جزئيا إلى المحلول مع أكسيد الألومنيوم ، حيث يصعب فصلها للحصول على الألومينا بصورة نقية . ويجب أن تجرى الطرق الحمضية فى أوعية تصنع من مواد تقاوم تأثير الأحماض ، ولذلك فهى باهظة التكاليف ، هذا إلى جانب صعوبة وتعقيد عملية استعادة الأحماض المعدنية المستخدمة ، مما يحد من تطبيق هذه الطرق الحمضية على المستوى الصناعى .

وفى الطرق القلوية يعالج الخام بهيدروكسيد أو كربونات الصوديوم ، وقد يضاف الجير أو الحجر الجيرى فى بعض الأحيان . ونتيجة لذلك ، تتكون ألومينات الصوديوم التى يمكن فصلها بسهولة لذوبانها فى الماء دون غيرها ، ثم بتحللها مرة أخرى يمكن الحصول على الألومينا نقيـة .

وفى حالة معالجة النيفيلينات للحصول على ألومينات تذوب فى الماء ، يكفى معالجة هذا الخام بالجير فقط . ثم يفصل هيدروكسيد الألومنيوم بتحايل ألومينات الصوديوم ، حيث يمكن الحصول على الألومينا ، أما المحلول الكاوى المتبقى فيعاد لاستخدامه مرة أخرى .

وفى الطرق القلوية ، تنفصل بسهولة أكاسيد الحـديد والتيتانيوم والكلسيوم التى كانت موجودة فى الخام ، وذلك لعدم ذوبانها فى المحلول ، أما السيليكا الموجودة فى الخام فتتفاعل مع المحلول الكاوى مسببة تعقيد العملية ، كما تؤدى إلى فقد كمية لا بأس بها من الشق الكاوى والألومينا ، بالإضافة إلى تدهور قيمة الألومينا الناتجة . ولذلك لا تصلح الطرق القلوية لاستخلاص الألومينا من خام البوكسايت ، إلا إذا احتوى على نسبة ضئيلة من السيليكا .

وفى هذه الدراسة ، نقسم المراحل الصناعية المختلفة التى تتعاقب بعضها إثر بعض ، للحصول فى النهاية على كتل من الألومنيوم النقى على النحو الآتى :

١ – خامات الألومنيوم .
٢ – العمليات الميتالورجية الفيزيقية فى صناعة الألومنيوم .
٣ – إنتاج المواد المساعدة فى صناعة الألومنيوم .
٤ – إنتاج الألومينا .
٥ – استخلاص الألومنيوم .
٦ – تنقية الألومنيوم .

١ – خامات الألومنيوم

الألومنيوم أكثر الفلزات انتشارا فى القشرة الأرضية على الإطلاق ، فقشرة الكرة الأرضية التى تضرب فى أعماقها لمسافة تبلغ ١٦ كيلومترا ، تحتوى على ١/١٣ من وزنها من الألومنيوم ، وهو يبلغ من الوفرة ضعف الحديد . ومن الغريب حقا أن يكون الألومنيوم بهذه الوفرة ، ومع ذلك فقد ظل مجهولا ، لم تمتد إليه الأيدى لاستخلاصه ، وإشراكه فى شتى جوانب الحياة العملية . ويعزى السبب فى ذلك ، إلى أن الألومنيوم – بشراهته المتناهية للأكسيجين – لا يوجد فى صورة نقية ، بل يوجد فى مركبات كيميائية بالغة التعقيد ، لا يمكن انتزاعه منها بسهولة . ولقد ظل الأمر كذلك حتى تمكن كل من شارل مارتن هول ، الذى كان يجرى تجاربه فى كوخه الخشبى المتواضع بإحدى الولايات الأمريكية ، وبول إيرو على الطرف الآخر من المحيط الأطلنطى

بفرنسا ، فى وقت واحد ، من استخلاص الألومنيوم من مركباته ، بطريقة أصبحت حجر الأساس للصناعة المتطورة لهذا الفلز الهام ، مما مكن من الحصول عليه بأسعار رخيصة .

وعلى وجه العموم ، فإن جميع الصخور والطفلة المعروفة تحتوى على هذا العنصر ، وهناك أنواع معينة من الطفلة الحمراء تحتوى على نسبة عالية من الألومينا (لو٢أ٣).قد تبلغ ٦٠٪ .

وبينما العديد من مركبات الألومنيوم التى توجد فى الطبيعة يكون معتما وغير جذاب ، فهناك بعض مركباته التى تتميز ببريق ولمعان جذاب ، والتى تتألق وتحاكى الأحجار النفيسة ، فالياقوت الأحمر الدموى ، والصفيرى ، الذى له زرقة البحر ، والعقيق الأحمر ، والزمرد الأخضر ، ما هى إلا مركبات للألومنيوم .

ولما كانت عمليات استخلاص الفلز من مركباته طويلة ومتشعبة، لذلك فإنه من غير العملى استخلاص الألومنيوم من خاماته الفقيرة . وفى العادة يجرى الاستفادة فقط من الخامات التى تحتوى على الألومينا بنسبة تتراوح بين ٥٠–٦٠٪ .

وأهم خامات الألومنيوم المعروفة فى الوقت الحاضر هى :

البوكسايت، والنيفيلاين ، والألونايت ، والكاولين ، والطفل ، والسيانايت ، واللوسيت الكربوليت ، والأندلوسايت ، والكورندم .

وتوجد أكثر مركبات الألومنيوم متحدة بعنصر السيليكون كشائبة . وأحسن هذه الخامات هى البوكسايت الذى سمى على اسم المدينة « لى بوكس » التى تقع فى جنوبى فرنسا ، حيث تم اكتشاف الرواسب الأولى لهذه الخامة التى تستخدم حاليا للحصول على الألومنيوم اللازم للأغراض الصناعيـــة .

البوكسايت :

أهم خامات الألومنيوم التى انتشر استخدامها على النطاق الصناعى انتشارا واسعا ، وهو صخور تتألف من عدة مركبات كيميائية : هيدروكسيد الألومنيوم (المادة الأساسية فى البوكسايت) أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد ، وبعض السليكات والكوارتز والكاولينات ومركبات التيتانيوم ، وكربونات الكلسيوم والحديد والمنجنيز ، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من مركبات الصوديوم والزركونيوم والكروم والفوسفور والثانيوم والجاليوم وغيرها من العناصر . ويختلف التركيب الكيميائى للبوكسايت اختلافا بينا من خام لآخر .

وتعتمد نوعية أى خام معين من خامات البوكسايت على نسبتى الألومينا (لو٢أ٣) والسليكا ، وعلى الصيغة الميتالورجية لهيدروكسيدات الألومنيوم . وتزداد جودة البوكسايت بارتفاع نسبة الألومينا وانخفاض نسبة السليكا .

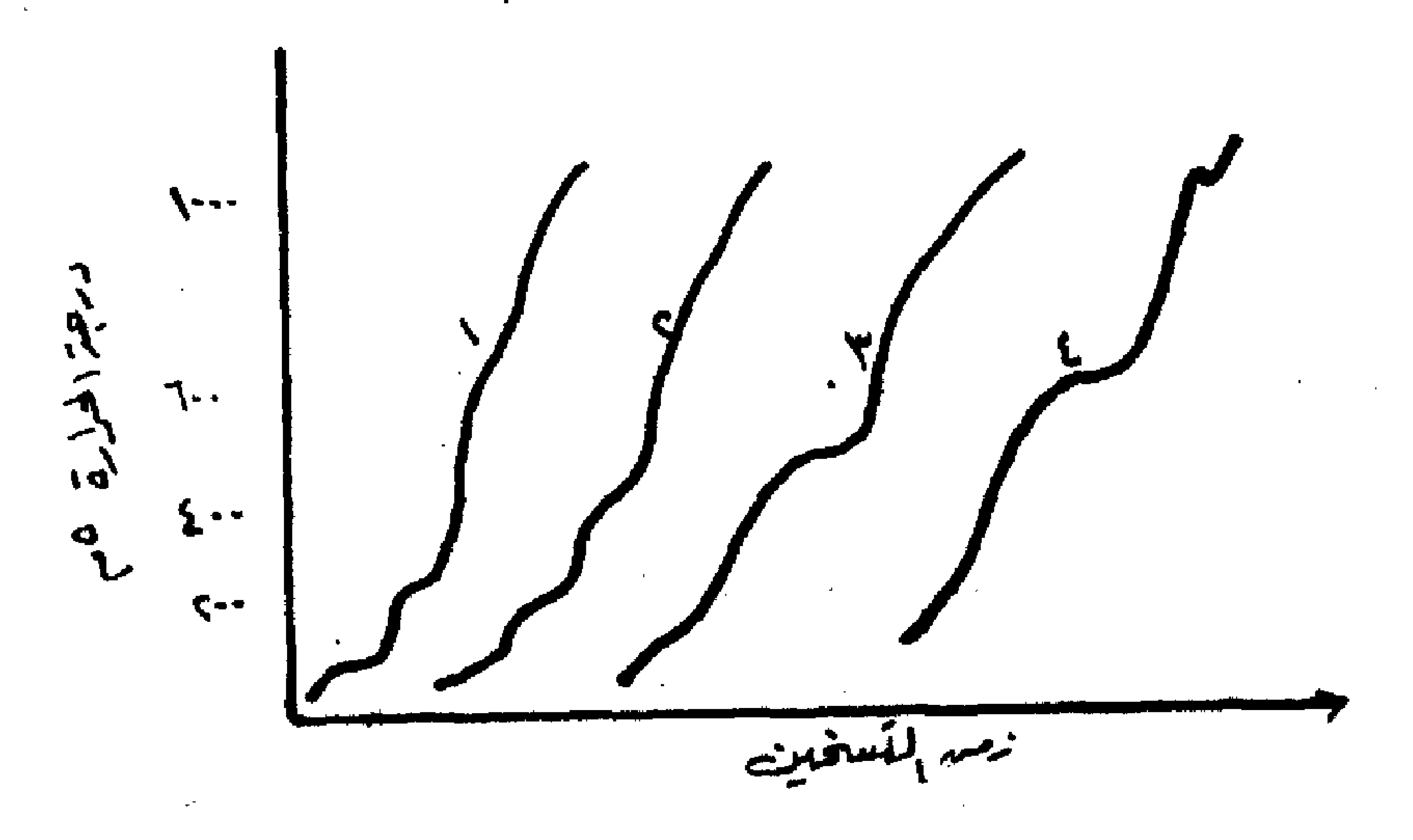
ويوجد البوكسايت بألوان مختلفة تتراوح بين الأبيض الناصع والأحمر القانى ، وفيما بين هذين اللونين ، يمكن أن نصادف بقية الألوان المعروفة . وأكثر أنواع البوكسايت انتشارا هى ذات اللون البنى الغامق ، أو الأحمر المعتم (فى لون الطوب الأحمر) . كما يتفاوت الوزن النوعى لأنواع البوكسايت من ١,٢ كما فى البوكسايت المسامى الهش ، إلى ٣,٥ فى أنواع البوكسايت

الذى يحتوى على نسبة عالية من الحديد والسليكون . وتتراوح صلادة أنواع البوكسايت من ٢ إلى ٧ (برينل) . ومما يزيد من صعوبة اكتشاف خامة البوكسايت ، اختلاف أنواعه المختلفة بعضها عن بعض فى المظهر الخارجى ، وفى الصفات الطبيعية ، ولكن البوكسايت يتميز بشبهه الكبير بالطفل (الطين الفخارى) ، ولا يكون كتلة عجينية عند اختلاطه بالماء .

ويكن الاختلاف الميتالورجى (المعدنى) للبوكسايت عن الطفل ، فى أن الألومنيوم فى الطفل يكون على شكل الكاولينايت لو$_{2}$أ$_{3}$، ٢ س أ$_{2}$ ، ٢ يد$_{2}$أ وما شابهه من سليكات الألومنيوم ، فى حين أن الألومنيوم فى البوكسايت يكون على شكل هيدروكسيد الألومنيوم ، وأصنافه هى : البوبهمايت والدياسبور ، ولهما معاً صيغة كيميائية واحدة هى لو$_{2}$أ$_{3}$، يد$_{2}$أ ، والجبسايت وصيغته الكيميائية لو$_{2}$أ$_{3}$ ، ٣ يد$_{2}$أ . وللصورة الميتالورجية لوجود الألومنيوم فى البوكسايت أهمية كبيرة عند معالجة كل نوع من أنواع البوكسايت .

لهذا السبب تصنف الأنواع المختلفة من البوكسايت إلى : بوكسايت بوبهمايتى ، وبوكسايت دياسبورى ، وبوكسايت جيبسايتى ، وبوكسايت مختلط التركيب .

وهناك طريقة مبسطة يمكن استخدامها لتحديد الصورة الميتالورجية لهيدروكسيد الألومنيوم فى البوكسايت ، وذلك بوساطة التحلل الحرارى بالتسخين ، لأن المركب الذى تحتوى صيغته الكيميائية على عدد أكبر من جزيئات ماء التبلور ، يسخن سريعا عن ذلك المركب الذى يحتوى على عدد أقل من جزيئات ماء التبلور ، وقد وجد عمليا أن ماء التبلور فى الجبسايت يبدأ فى الانفصال عند درجة حرارة ٢٠٢—٢٠٥°م ، وفى حالة الدياسبور عند ٥٠٩—٥٥٠° م ، أما فى حالة الكاولينات فعند ٥٥٨ — ٦٠٥° م . ويصاحب هذه العملية امتصاص قدر من الطاقة الحرارية يؤدى إلى ثبات درجة الحرارة بعض الوقت ، كما فى الرسم البيانى فى شكل (٧) .



(شكل ٧) منحنيات تسخين بعض مركبات الألومنيوم

١ — الألوموجل لو$_{2}$ أ$_{3}$ ، ن يد$_{2}$ أ ٢ — الجبسايت لو$_{2}$ أ$_{3}$ ، ٣ يد$_{2}$ أ

٣ — الدياسبور لو$_{2}$ أ$_{3}$ ، يد$_{2}$ أ ٤ — الكاولين

النيفيلاين :

يمكن التعبير عن تركيبه بالصيغة الكيميائية :

(ص ، بو)$_{2}$ أ ، لو$_{2}$ أ$_{3}$ ، س أ$_{2}$. وهو فى الواقع صخور طبيعية أشهرها الأباتايت

ويجرى تركيز خام الأباتايت بطرق التعويم ، وأثناء ذلك يتخلف النيفيلاين مع البقايا . وفى أثناء عملية معالجة النيفيلاين لحصول على الألومينا ، يتم الحصول أيضا على كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم كناتجين ثانويين لخام النيفلاين ، وتصل نسبة الألومينا فى النيفيلاين بعد تركيزه إلى ٣٠٪ فقط ، وهى نسبة ليست عاليـــة ، ولذلك فإنه لولا الحصول على كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم ، والانتفاع بالمخلفات كمادة أولية فى صناعة الأسمنت ، لكانت الطريقة غير اقتصادية .

الألونايت :

مركب كيميائى يتألف من كبريتات الألومنيوم القاعدية ، بالإضافة إلى كبريتات البوتاسيوم وصيغته الكيميائية هى :

بو$_{2}$كب أ$_{4}$ ، لو$_{2}$(كب أ$_{4}$)$_{3}$ ، ٤ لو (أيد)$_{3}$. وتصل نسبة الألومينا فى هذا الخام إلى ٢١٪ ، وهى نسبة منخفضة جدا ، بينما تصل نسبة السليكا إلى ٤٢٪ وهى نسبة مرتفعة للغاية .

الكاولين والطفل :

من المعتقد أن الصيغة الكيميائية لهذه الخامة هى :

لو$_{2}$أ$_{3}$ ، ٢س أ$_{2}$ ، ٢ يد$_{2}$أ ، بالإضافة إلى بعض الشوائب الأخرى كالسيليكا وأكاسيد الحديد والكلسيوم والمغنسيوم . وتنتشر خامة الكاولين انتشارا واسعا فى الطبيعة ، ويمكن استخدامها فى صناعة سبائك الألومنيوم مع السيليكون .

السيانايت :

يمثل الجزء الرئيسى فى الخام السيانايتى ، ولاحتوائه على نسبة كبيرة من السيليكا ، فهو لا يستخدم حتى الآن لحصول على الألومينا ، بل يستخدم لحصول مباشرة على سبائك الألومنيوم مع السيليكون .

٢ — العمليات الميتالورجية الفيزيقية
فى صناعة الألومنيوم

لحصول على عنصر الألومنيوم نقيا من خاماته ، يجب أولا تركيز الخامة المستخدمة حتى تكون عملية استخلاص الفلز مناسبة من الناحية الاقتصادية . ويتم ذلك بفصل بعض الشوائب (أو كلها إذا كان ذلك ممكنا) ، ثم إجراء عملية تؤدى إلى تفكك أو تحلل الخامة المعدنية إلى مكوناتها ومركباتها الكيميائية ، يلى ذلك الحصول على المركب الكيميائى للألومنيوم منفردا

(المكون الألومنيومى) ، وعندئذ تقترب العملية من نهايتها الحاسمة ، وهى استخلاص الألومنيوم فى صورته الفلزية الخالصة ، والتى تتم نتيجة عمليات كيميائية معقدة . والعمليات التى تتم خلالها معالجة خامة الألومنيوم بطريقة فيزيقية غير مصحوبة بتفاعلات كيميائية ، أى لا تكون مصحوبة بأية تفاعلات كيميائية ، تتناول جوهر المكون الألومنيومى ، تسمى « العمليات الميتالورجية الفيزيقية » . أما العمليات التى تتسم بتفاعلات كيميائية ، فتسمى « العمليات الميتالورجية الكيميائيـــة » .

ويمكن فصل بعض الشوائب من الخامة المعدنية ، بالاستفادة من التباين فى خواصها الفيزيقية ، كالاختلاف فى الأوزان النوعية ، والصلادة ، والذوبان فى الماء ، أو بتأثير بعض العوامل الكيميائية على سطح الخامة ، التى تؤثر بدورها على قابلية المعدن للتبلل بالماء .

وعادة ما تكون هذه العمليات الميتالورجية التى تهدف إلى تركيز الخامة المعدنية ، رخيصة التكاليف ، ولا تحدث أى تغيير فى التركيب الكيميائى للمعدن ، كما أنها تكون من ناحية أخرى قاصرة عن استخلاص الألومنيوم بصورته الفلزية النقيه .

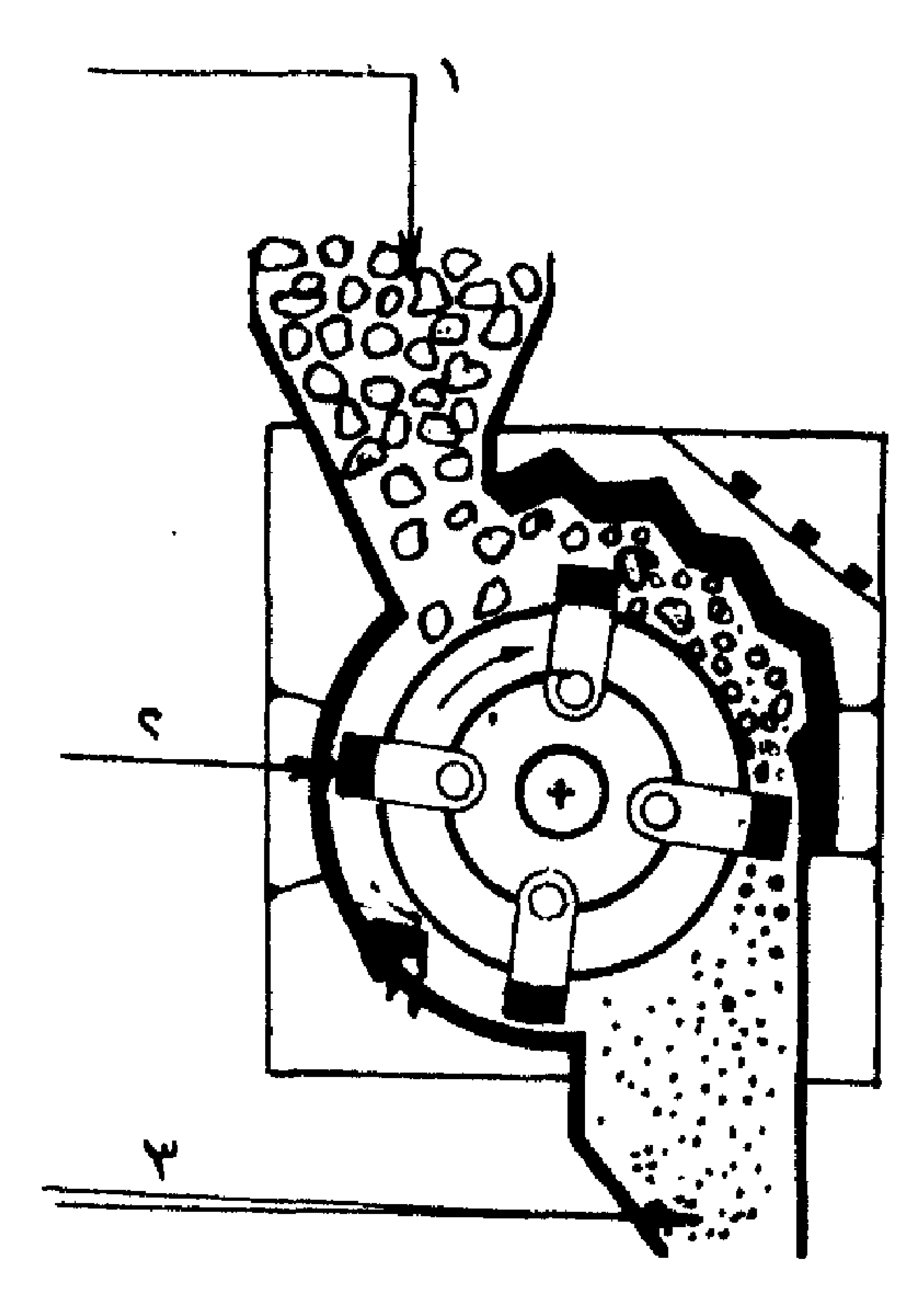
تركيز خامات الألومنيوم :

نتناول فيما يلى عمليات تركيز خامات الألومنيوم ، حتى تكون جاهزة لعمليات كيميائية لاحقة ، تسفر فى النهاية عن الحصول على الفلز نقيا .

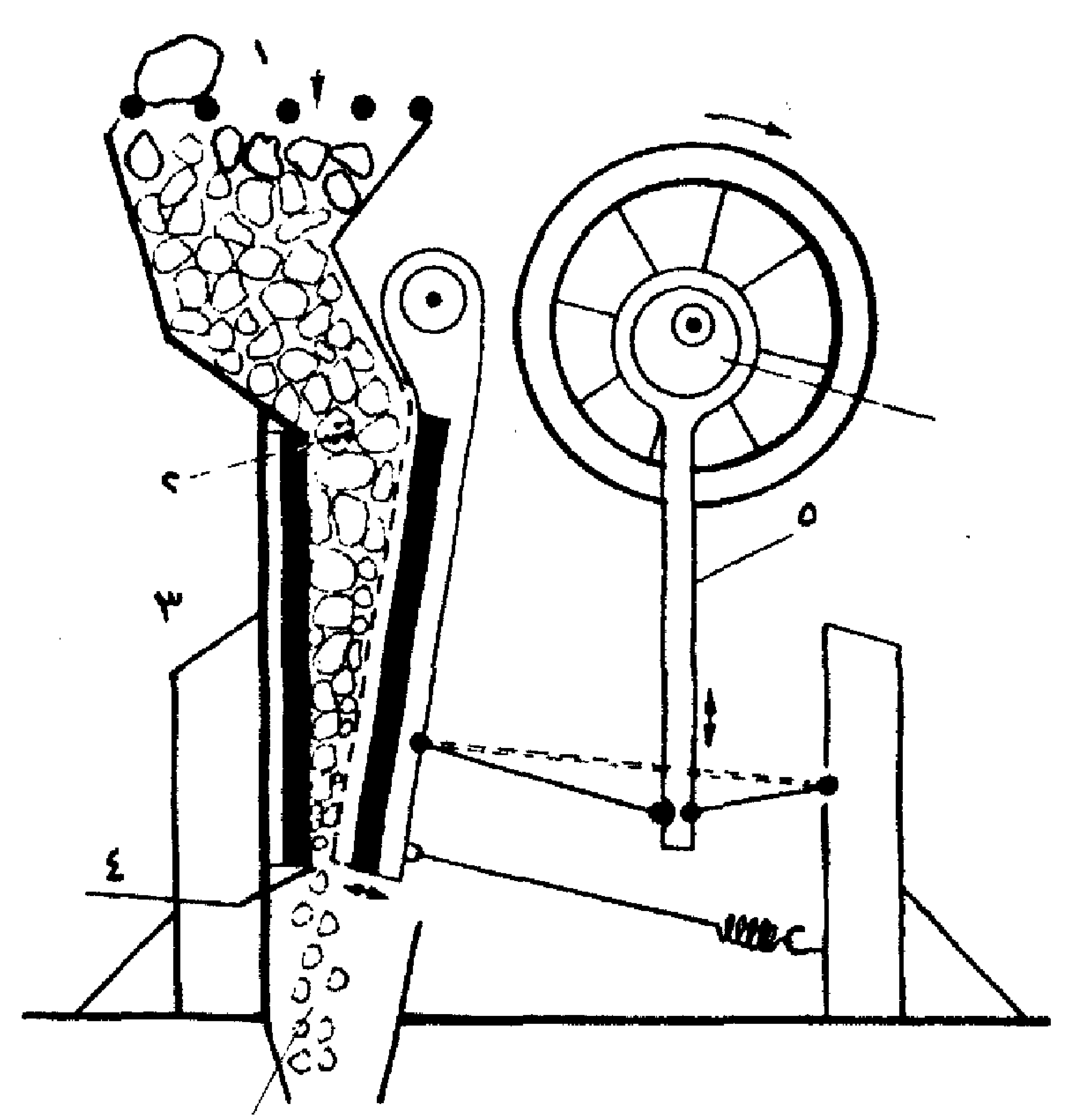
تبدأ هذه العمليات الميتالو رجية ، فور الحصول على الخامة المعدنية للألومنيوم فى كتل كبيرة الحجم ، يجرى تعدينها من مناجم تحت الأرض ، أو من مناجم مفتوحة على سطح الأرض . وفى كلتا الحالتين ، تثقب فتحة فى الخامة المعدنية بالمنجم ثم توضع فيها شحنة متفجرة ، وبتفجيرها تتفكك الخامة المعدنية إلى كتل تتراوح مقاساتها بين ١٢٠٠ و ١٥٠٠ مليمتر ، ولما كانت العمليات الميتالورجية تتطلب قطعا دقيقة الحجم (قد تصل مقاساتها إلى ١,٠ مليمتر) من الخامة المعدنية ، لذلك فمن الضرورى اختزال أحجام هذه الكتل الضخمة ، إلى الأحجام الدقيقة المطلوبة ، ويتم ذلك بواسطة الكسارات والطواحين ، وفيها يتم التكسير والطحن ، بواسطة الطرق ، أو الضغط المتتالى ، أو الاحتكاك .

وتقوم الكسارات بتكسير كتل الخامة المعدنية ، كبيرة الحجم ، إلى أحجام متوسطة ، ثم تقوم الطواحين بعد ذلك بطحن هذه الأحجام المتوسطة ، إلى أحجام دقيقة .

وتستخدم الكسارة المطرقية أو الفكية ، لتكسير كتل الخامة المعدنية إلى أحجام صغيرة . ويوضح الشكل (٨) مقطعا فى كسارة مطرقية (قد تسمى فى بعض الأحيان كسارة المطارق أو كسارة الشواكيش) ، وفيها يدور المحرك بسرعة تتراوح بين ٨٠٠ ، ١٠٠٠ دورة فى الدقيقة . ويحدث التكسير نتيجة سقوط المطارق على الكتل وارتطامها بها ، وأيضا نتيجة ارتداد هذه الكتل بعد اصطدامها بجدران الكسارة . ويوضح الشكل (٩) الكسارة الفكية .

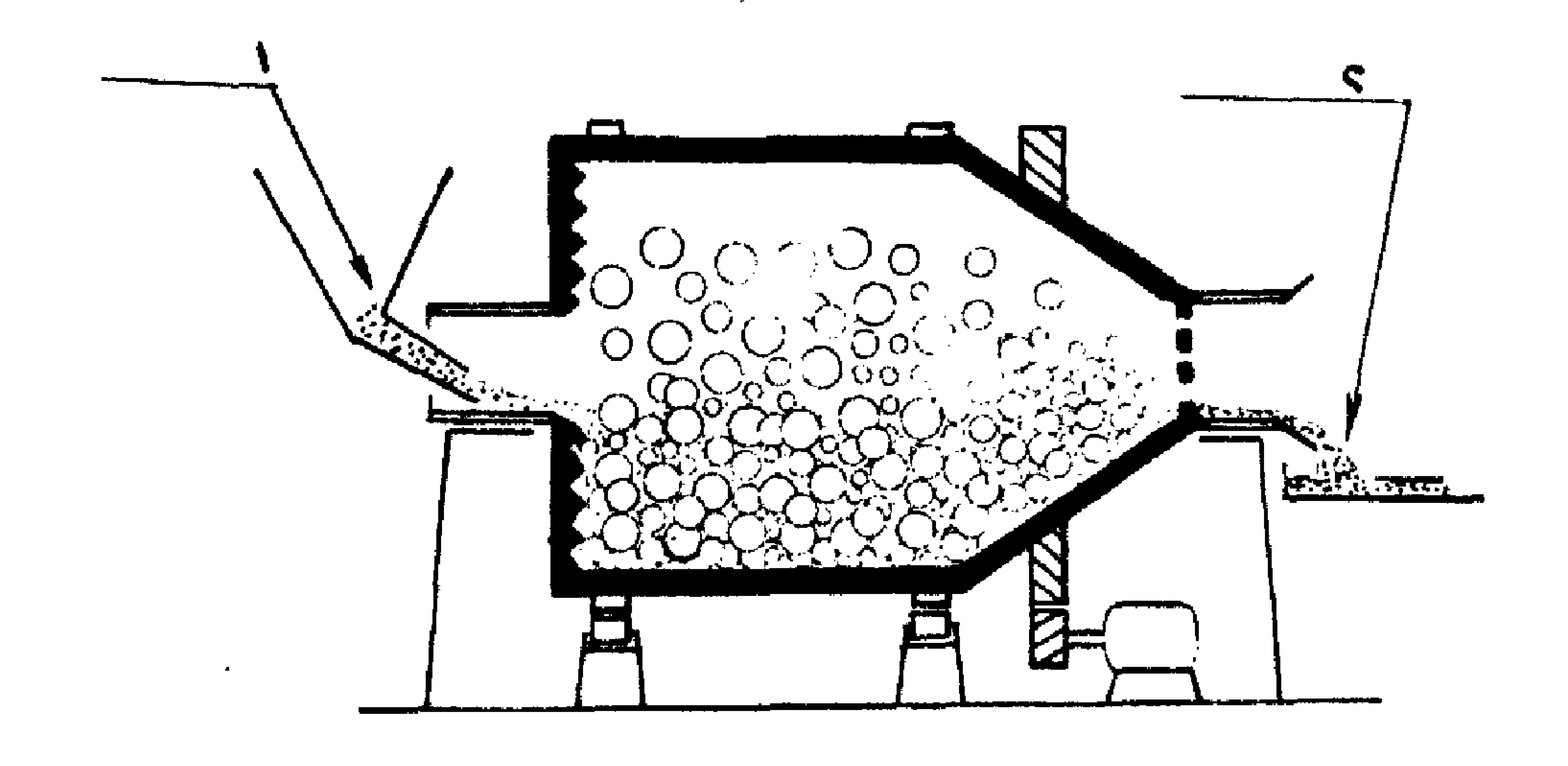


(شكل ٨)
كسارة مطرقية (كسارة الشواكيش)
١ – الشحن
٢ – المطارق (الشواكيش)
٣ – الخـام بعد التكسير



(شكل ٩) كسارة فكية

١ – الشحن
٢ – فك الـكسارة الثابت
٣ – فك الـكسارة المتحرك
٤ – فتحة الكسارة
٥ – عمود الإدارة



(شكل ١٠) طاحونة الكور

١ – الشحن ٢ – الخام المطحون

بعد الحصول على الخامة المعدنية لفلز الألومنيوم بأحجام صغيرة ، يجرى تصنيفها حجميا حيث تعاد الأحجام الكبيرة نسبيا ، ليعاد تكسيرها مرة أخرى فى الكسارة المطرقية ، أو فى الكسارة الفكية ، وتشحن الأحجام الصغيرة ٥٠ مليمترا فى طاحونة الكور ، أوطاحونة القضبان ، لطحنها إلى أحجام دقيقة كالمطلوب . والطاحونة كما هى مبينة بالشكل (١٠) تتكون من هيكل اسطوانى الشكل من الفولاذ ، يبطن بألواح من الصلب قابلة للتغيير ، إذا ما لزم الأمر ، وبداخل هذه الأسطوانة الفولاذية الضخمة ، يوجد عدد من الكرات أو القضبان الفولاذية أو قطع من حجر الصوان . وتدخل المواد عند الشحن المستمر من بوابة أفقية هى المرتكز الدورانى المجوف لجسم الطاحونة ، وتفرغ المواد المطحونة من الطرف الآخر ، ويدور جسم الطاحونة حول محوره الأفقى ، حيث ترفع الكرات والقضبان الفولاذية لتسقط من ارتفاع معين حتى تسحق قطع الخام . ولابد أن تكون سرعة الدوران مناسبة ، فلا تكون أعلى من اللازم ، فتندفع الكرات إلى محيط الطاحونة ، وتتشبث بها بتأثير القوة الطاردة المركزية الناتجة عن الدوران السريع للطاحونة ، أو أبطأ مما يجب ، فتتدحرج الكرات فى الجزء الأسفل من الطاحونة ، وينعدم دورها . وعلى كل حال ، فهى تتراوح بين ١٢ ، ٤٠ دورة فى الدقيقة ، استنادا إلى قطر الطاحونة .

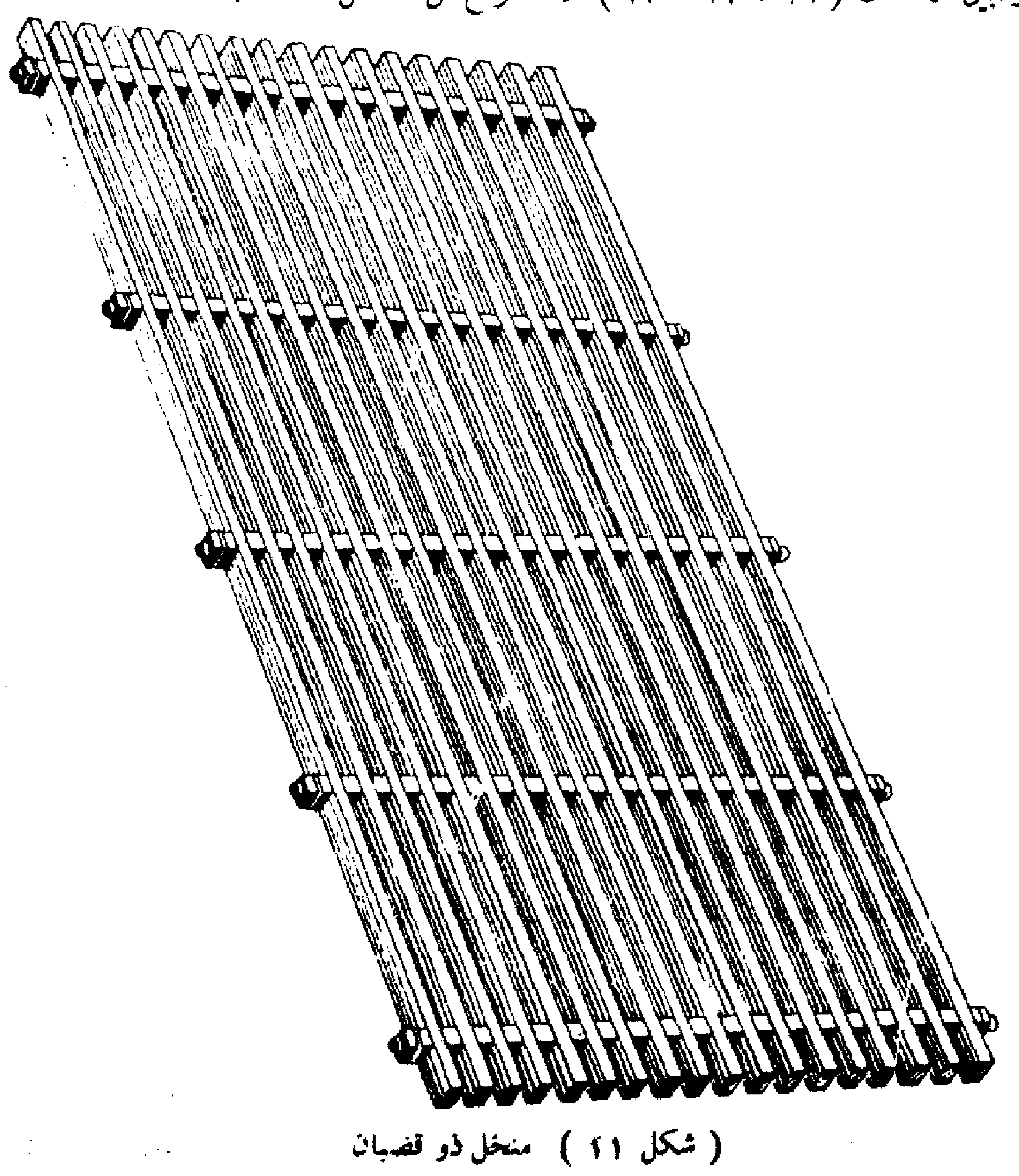
وفى الآونة الأخيرة ، اتجه التفكير إلى استخدام الطواحين ذاتيـــة السحق ، وفيها يستغنى عن أجسام السحق مثل الكرات أو القضبان الفولاذية ، وإنما يتم السحق اعتمادا على الاحتكاك الناشئ بين قطع المواد المطحونة نفسها . وهذه الفكرة مناسبة عمليا ، ولهـا ميزاتها التى أهمها

تفادى اختلاط مسحوق الحديد الناعم ، الناجم عن احتكاك الكريات أو القضبان الفولاذية أثناء عملية السحق ، مع حبيبات الخامة الدقيقة الحجم .

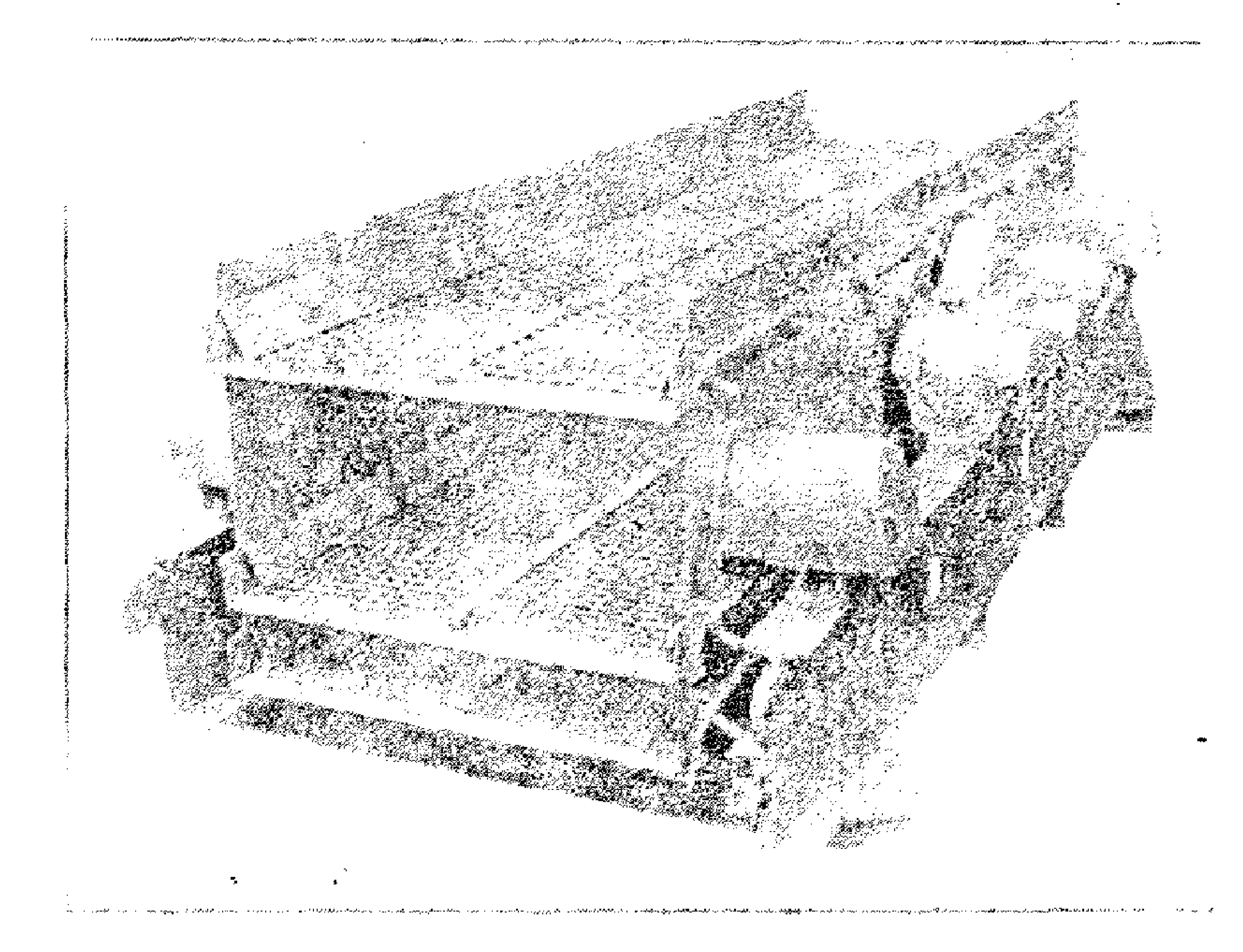
وتجرى عملية الطحن الدقيق فى وسط سائل ، تفاديا لتكون الغبار ، وغالبا ما يستخدم الماء لهذا الغرض .

ولما كانت كل مرحلة من مراحل العمليات الميتالورجية تستلزم حجما معينا للخامة المعدنية ، كما أنه من ناحية أخرى ، يختلف حجم الخامات المعدنية بعد عمليات الطحن تبعا لخواصها من حيث الصلادة والقصافة ، فإن كل مرحلة من مراحل الطحن أو التكسير ، تحتوى على نسبة من الدقائق قد تكون من الصغر بحيث تمثل عبئا على حمولة الطاحونة لا داعى له . ولذلك فإنه من الأصوب أن تجرى عملية فصل للأحجام ، صغيرها عن كبيرها ، بين المراحل المختلفة للتكسير والطحن . وتتم هذه العملية بالاستعانة بمجموعة من المناخل .

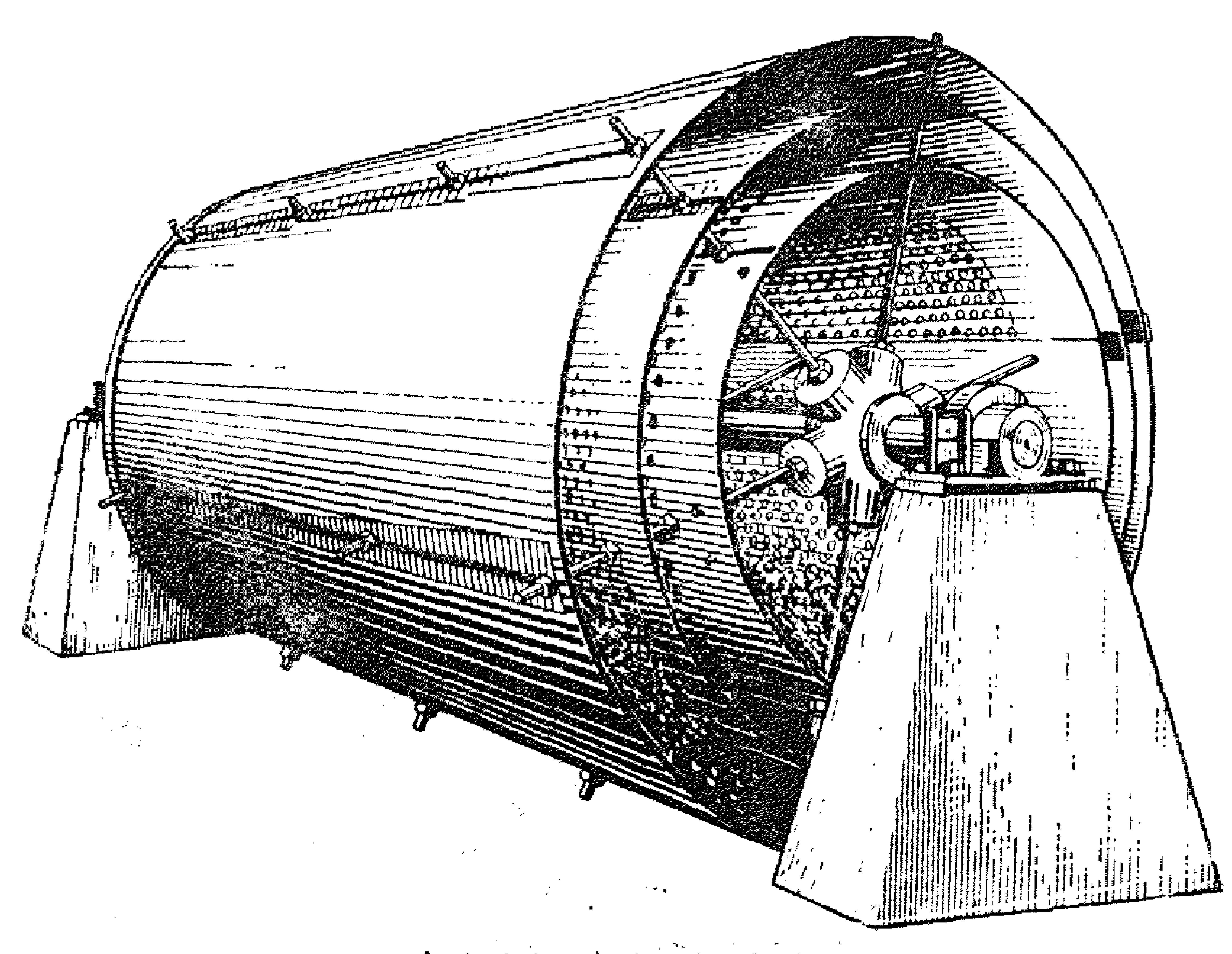
وتبين الأشكال (١١ ، ١٢ ، ١٣) ثلاثة أنواع من المناخل المختلفة .



(شكل ١١) منخل ذو قضبان



(شكل ١٢) منخل هزاز



(شكل ١٣) منخل اسطوانى

وأبسط هذه الأنواع استخداما فى الصناعة ، المنخل ذو القضبان ، وهو يحتوى على قضبان فولاذية تميل على الأفقى بدرجة تتراوح بين ٣٥ ، ٤٠°. وتحدد المسافة بين القضبان ، حجم الدقائق المطلوبة ولا تقل عادة عن ٢٥ مليمترا . وتتدحرج المواد على قضبان المنخل بفعل الجاذبية

الأرضية ، حيث تسقط المواد صغيرة الحجم خلال الفتحات بين القضبان . وتكاليف المنخل القضباني صغيرة ، وكفاءتها فى فصل الدقائق منخفضة .

ويتكون المنخل المزاز من شبكة من أسلاك معدنية تمتد على إطار معدنى ، يميل على الأفقى بدرجة لا تكفى لتدحرج المواد عليه بفعل قوى الجاذبية ، ولكن باهتزازه بطريقة ميكانيكية أو كهرومغنطيسية ، تتدحرج هذه المواد ، وتنفصل تبعا لأحجامها . ويمكن فصل المواد إلى عدة أحجام ، بوضع عدة شبكات الواحدة فوق الأخرى ، ولكل شبكة فتحات تختلف عن فتحات الشبكة التى تليها ، ويجرى ترتيبها بحيث توضع الشبكة ذات الفتحات الأضيق أسفل التى تليها وهكذا.

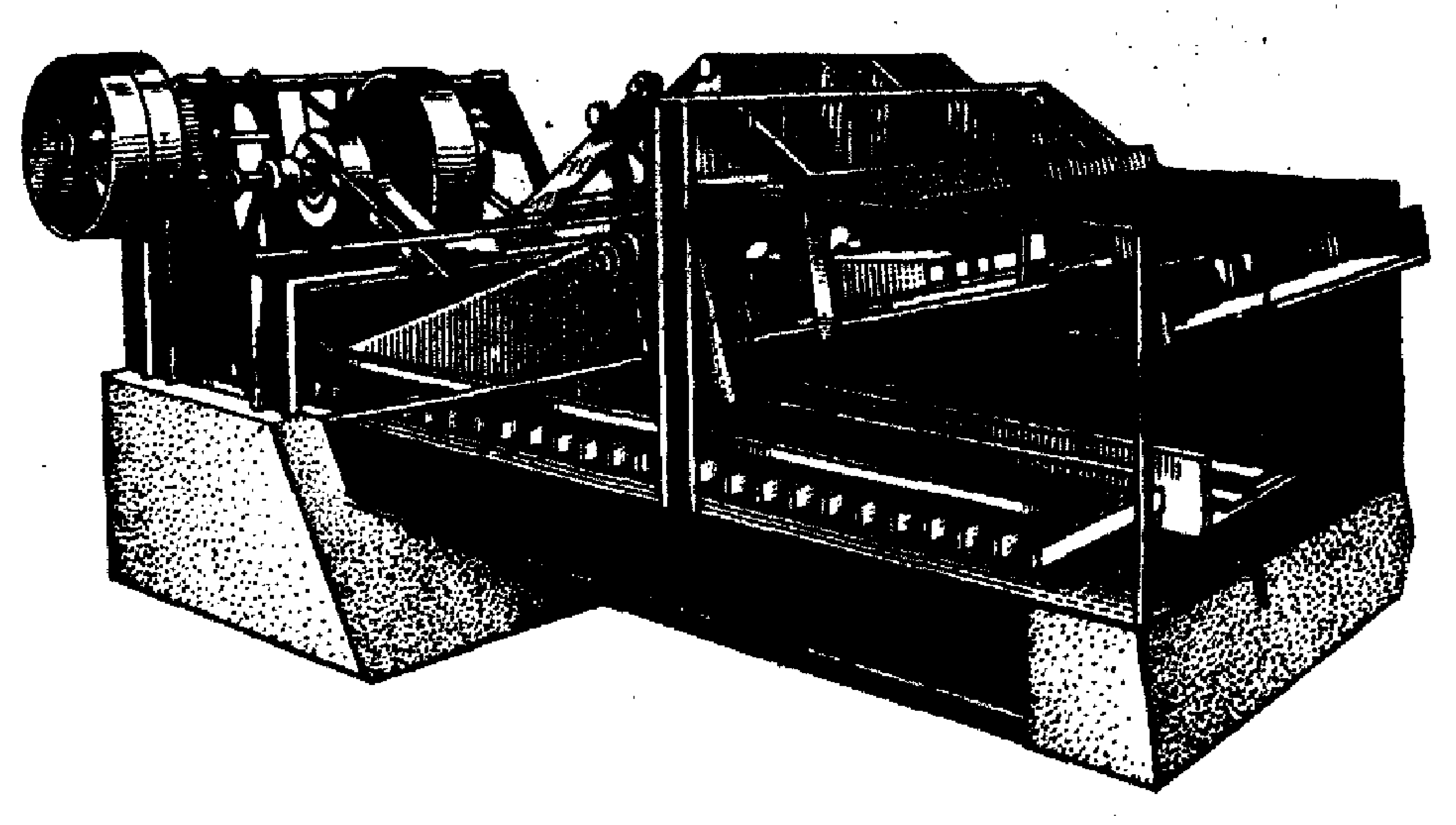
ويستخدم المنخل المزاز بعد عملية التكسير المتوسط والناعم . ويمتاز بكفاءة أعلى كثيرا من المنخل القضبانى .

ويتكون المنخل الأسطوانى من شبكة اسطوانية الشكل يميل محورها قليلا على الأفقى ، ويمكن أن تدرج المواد إلى أحجام مختلفة باستخدام شبكات أسطوانية متحدة المحور ، ولها فتحات مختلفة ، بحيث تضيق الفتحات بالاتجاه إلى الخارج ، حيث تكون للشبكة الخارجية أضيق الفتحات .

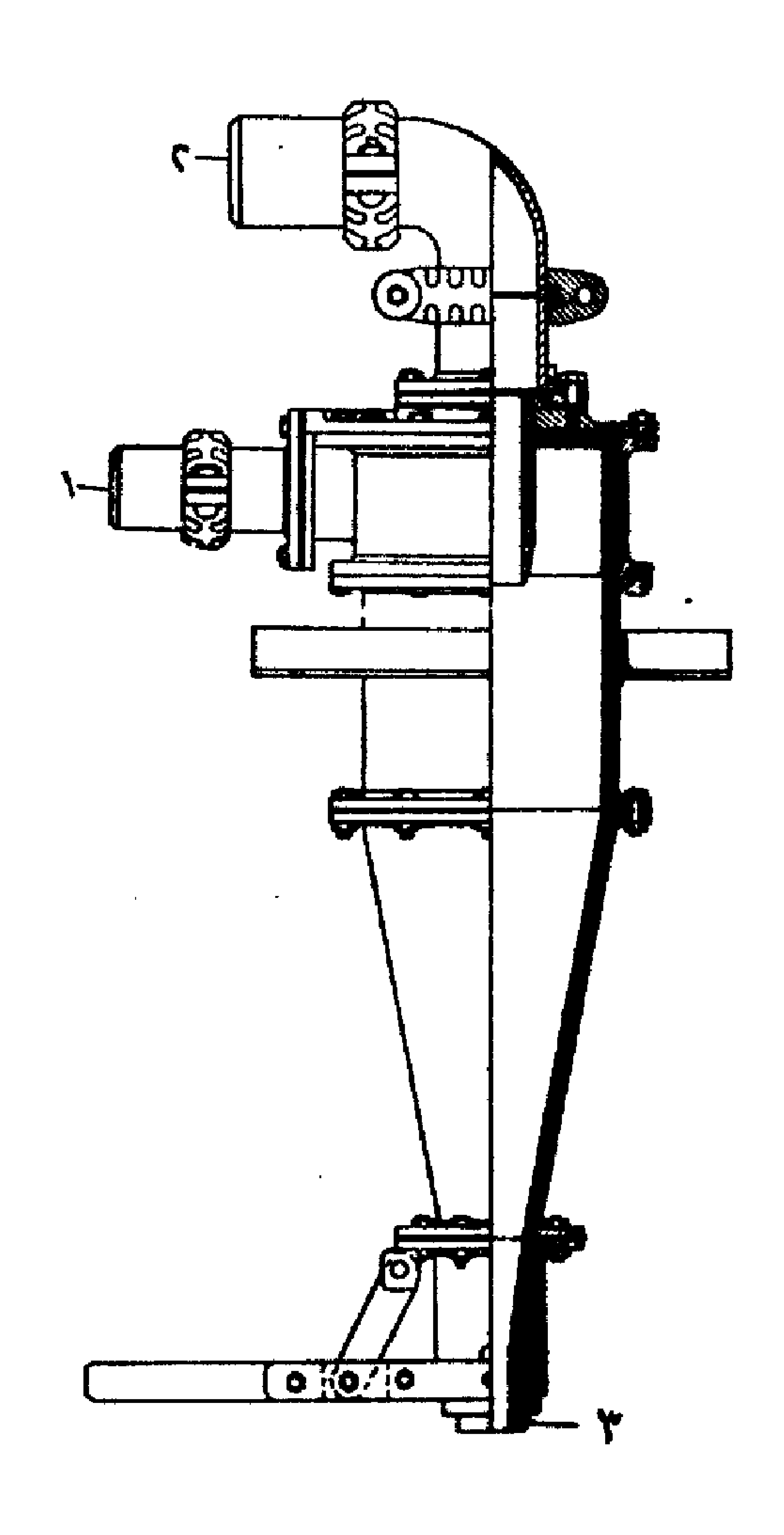
التصنيف المبتـل :

يتعذر استخدام المناخل التى سبق وصفها فى أغراض التصنيف الحجمى لحبيبات الخامة المعدنية ذات الأحجام الدقيقة ، إذ تميل هذه الدقائق إلى التجمع فى كتل تبدو كبيرة ، كما قد تكون غبارا . ولهذا يجرى التصنيف الحجمى لهذه المواد الدقيقة فى وسط سائل حيث يكون لبابا ، ويعرف هذا النوع من التصنيف بالتصنيف المبتل . وتعتمد فكرة التصنيف المبتل ، على مبدأ ترسب الدقائق الكبيرة (الأثقل) من اللباب بسرعة أكبر من ترسب الدقائق الصغيرة (الأخف) .

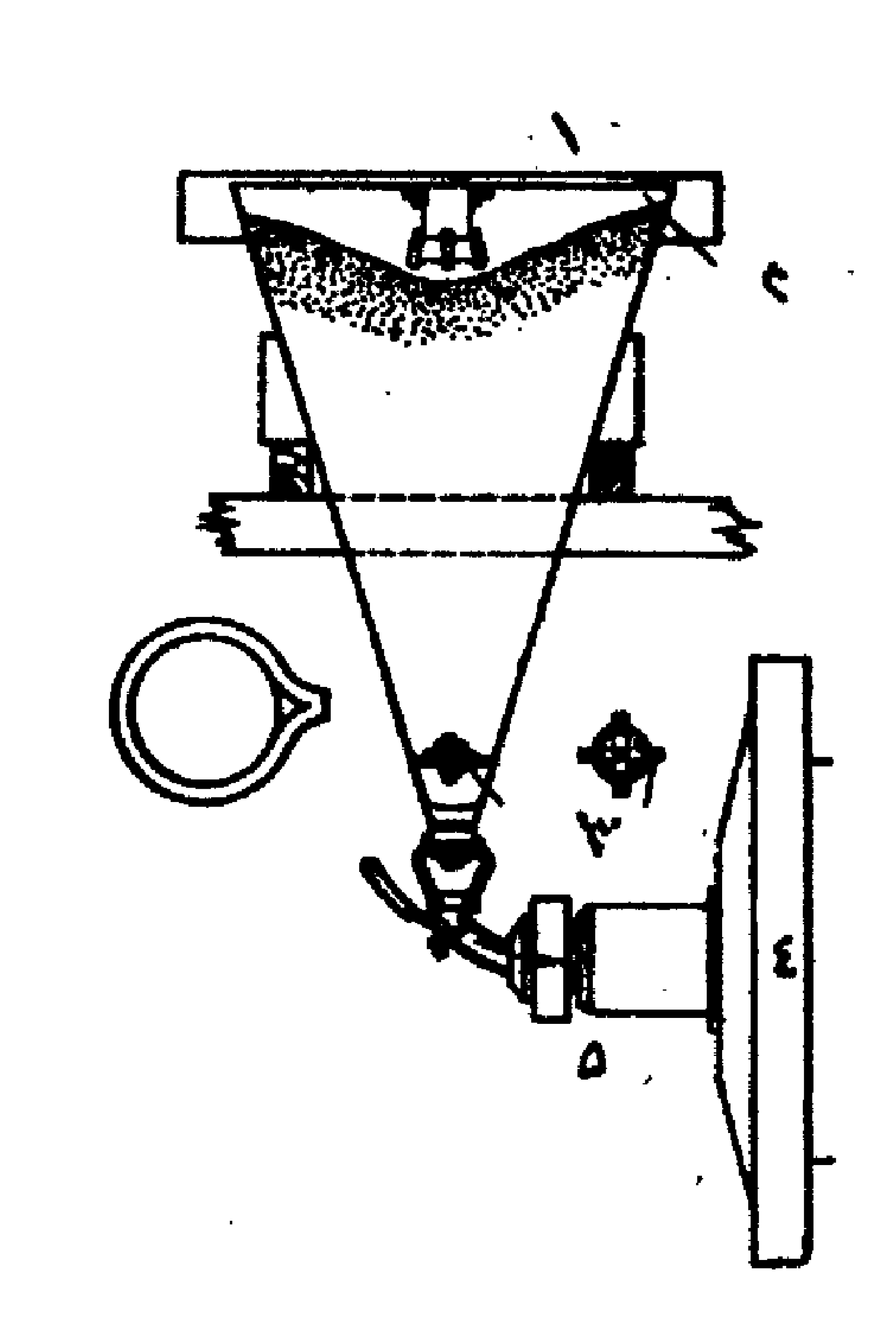
والمصنف الذى يعمل فى وسط مبتل (وسط مائى) ، وعاء يملأ بلباب المواد التى يراد تصنيفها ، ويتم الشحن بصفة مستمرة ، حيث تترسب المواد السريعة الهبوط فى المصنف ، بينما



شكل (١٤) مصنف دُرّ



(شكل ١٥) مصنف سيكلونى :
١ — التغذية
٢ — الفيض
٣ — التخلص من المواد العالقة

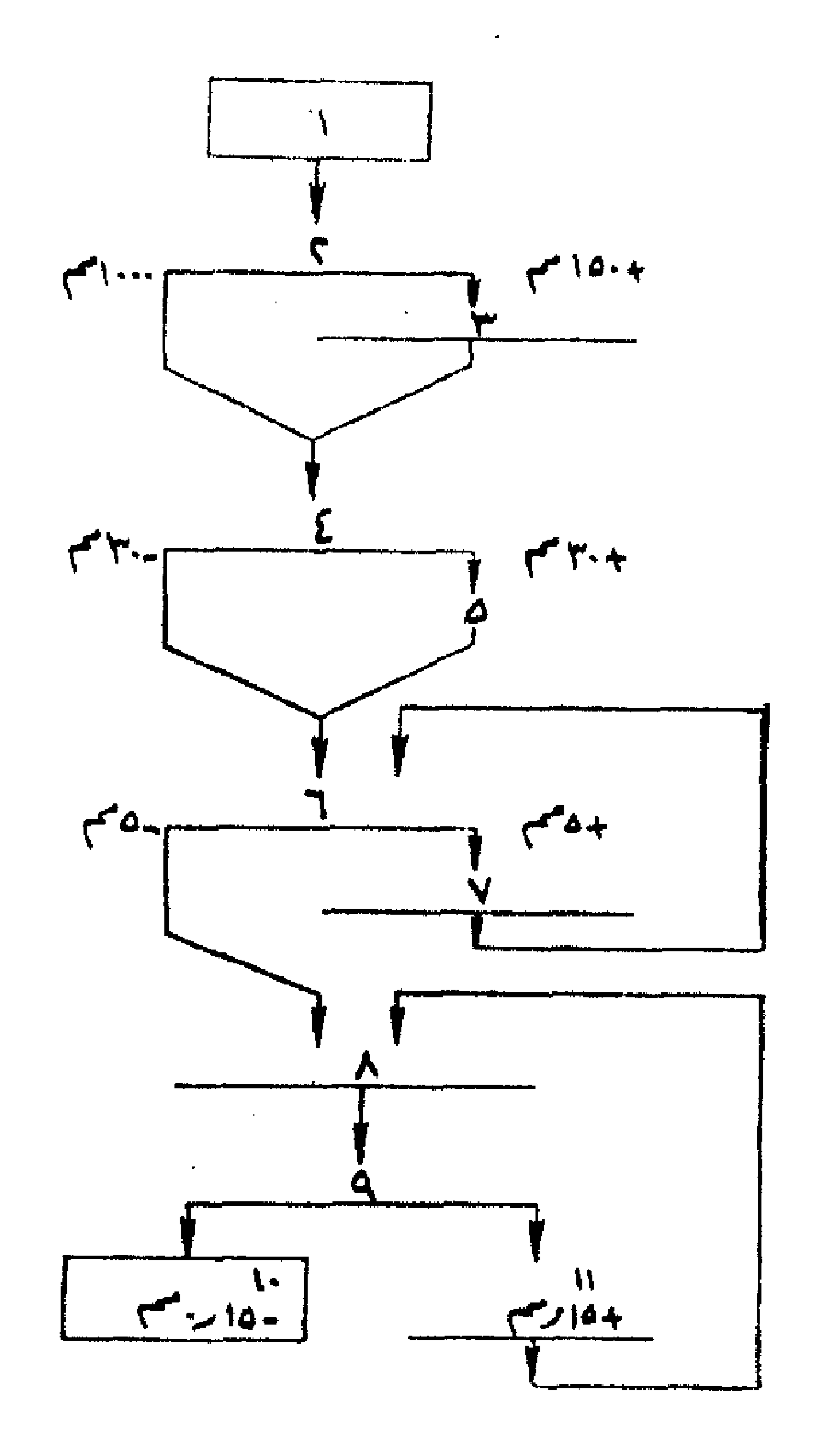


(شكل ١٦)
مصنف مخروطى يعمل فى دائرة مقفلة مع طاحونة الكور :
١ — التغذية
٢ — الفيض
٣ — حاجز
٤ — طاحونة الكور
٥ — التفريغ

تنساب الدقائق الصغيرة محمولة مع التيار المتدفق للباب . وبانخفاض سرعة اللباب خلال المصنف ، تترسب كيات أخرى من المواد العالقة ، ولا تتبقى إلا المواد الدقيقة ، فتظل معلقة فى ماء الفيض . وهناك عدة أنواع من المصنفات يمكن استخدامها لهذا الغرض ، مثل مصنف دور ، الشكل (١٤) ، والمصنف السيكلونى ، الشكل (١٥) . كما يمكن أن يقرن أحد المصنفات المبتلة بطاحونة فى دائرة مغلقة ، كما فى الشكل (١٦) ، الذى يوضح اقتران المصنف المخروطى بطاحونة الكور ، حيث يجرى طحن الخامة المعدنية ، ثم دفعها خلال فتحة التفريغ إلى المصنف المخروطى الذى يقوم بتصنيفها وإعادة الحبيبات الكبيرة منها إلى الطاحونة لطحنها مرة أخرى ، وهكذا.

ويتكون المصنف المخروطى من وعاء مخروطى قاعدته إلى أعلى . وتتجمع المواد كبيرة الحجم فى الجزء الأسفل (عنق المخروط) حيث تفرغ بجهاز خاص . وتطفو الحبيبات الدقيقة الحجم مع السائل ، ثم تخرج خلال قناة مفتوحة فى أعلى المخروط . وهذا النوع من المصنفات سهل التصميم ، ولا يحتوى على أجزاء متحركة ، ولكن فى مقابل ذلك فإن كفاءته دون المطلوب .

ويبين الشكل (١٧) رسما توضيحيا للخطوات المتبعة التى يتعرض لها الخام بعد تعدينه من المناجم ، ويتضح من الرسم ، أن الطاحونة والمصنف تكون فى دائرة مغلقة واحدة .



شكل (١٧)

رسم توضيحى يبين توالى عمليات تكسير ، وطحن وتصنيف الخامة المعدنية للألومنيوم :

١ – الخامة المعدنية للألومنيوم
٢ – منخل ذو قضبان
٣ – عملية التكسير الابتدائية
٤ – منخل هزاز
٥ – عملية التكسير المتوسطة
٦ – منخل هزاز دقيق
٧ – عملية التكسير الدقيقة
٨ – الطحن
٩ – عملية التصنيف الحجمى
١٠ – الفيض
١١ – النفايات المتخلفة

وبالحصول على الخامة المعدنية للألومنيوم فى صورة جسيمات دقيقة الحجم ، تصبح جاهزة للخطوة التالية وهى عملية التركيز .

أساليب تركيز الخامة المعدنية :

لا تؤدى عملية تركيز الخامة المعدنية إلى حدوث أى تغيير فى الخواص الكيميائية أو الفيزيقية الأساسية للخامة ، وينحصر الهدف من هذه العملية الميتالورجية ، فى التخلص من بعض الشوائب غير المرغوب فيها ، فتزداد تبعا لذلك نسبة الألومنيوم فى الخامة المعدنية .

وهناك العديد من الطرق المختلفة التى يمكن تطبيقها لتركيز الخامة المعدنية للألومنيوم ، منها طريقة التعويم ، وطريقة التركيز حسب الثقل النوعى .

وفيما يلى وصف تفصيلى لطريقة التعويم لتركيز خامة الألومنيوم .

بعد الحصول على لباب يحوى الحبيبات الدقيقة الحجم من خامة الألومنيوم ، تضاف إليه كميات قليلة جدا من عوامل التعويم (عوامل الطفو) اللازمة ، ويقلب اللباب جيدا بواسطة قلابات ميكانيكية ، ويدفع خلاله تيار من الهواء الجوى ، الذى ينتشر على هيئة فقاعات صغيرة خلال كل اللباب . وتتعلق هذه الفقاعات بالدقائق الصلبة للمعادن التى أصبحت غير قابلة للبلل ، بتأثير عوامل التعويم فتقل كثافتها وتطفو على سطح اللباب .

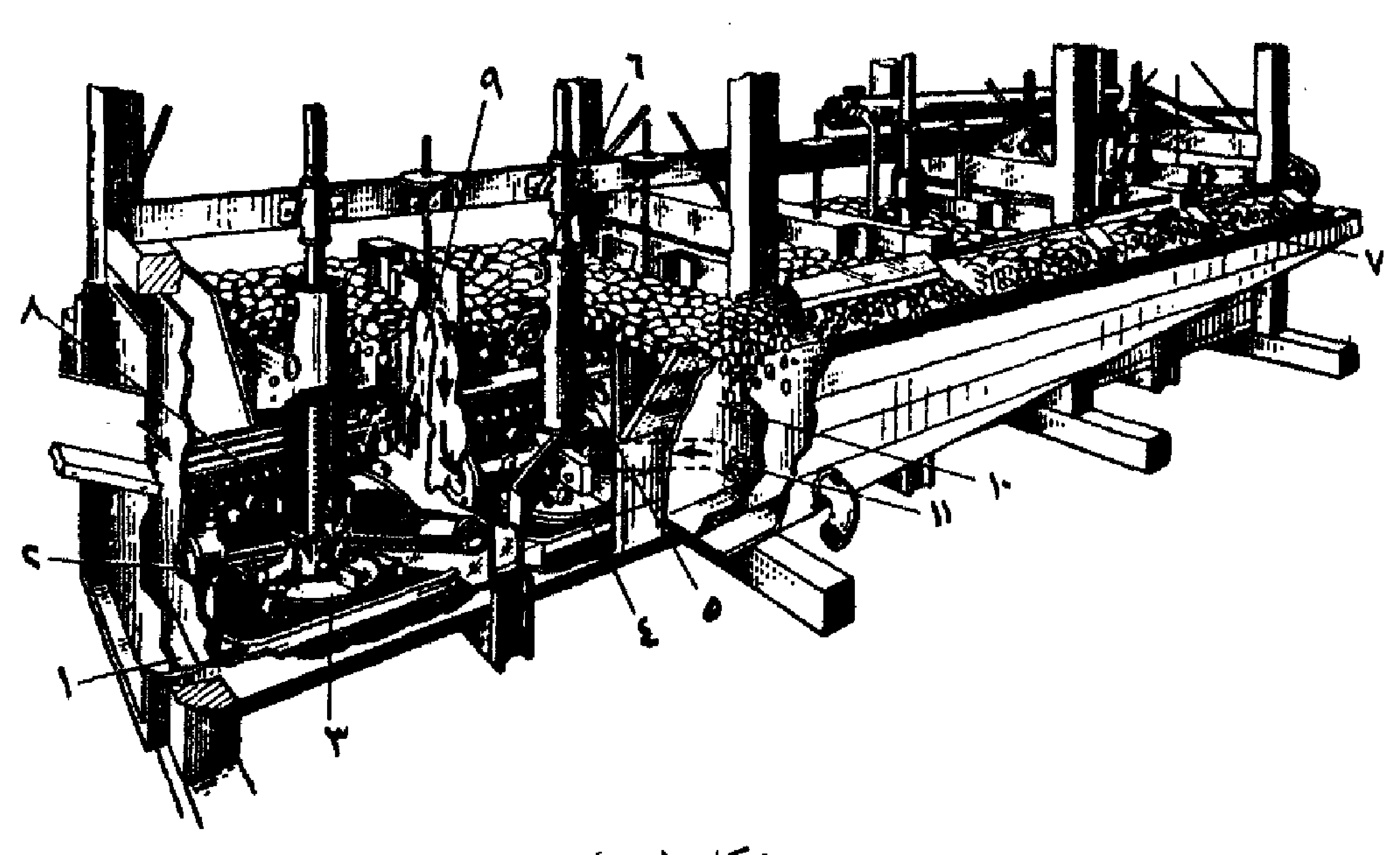
وعوامل التعويم هى فى الواقع مركبات عضوية أوزانها الجزيئية كبيرة ، منها أملاح حمض السانثيك (أملاح السانثيات) . والأحماض الكربوكسيلية وأملاحها . ومن خواص هذه العوامل الالتصاق بمركبات أحد العناصر دون غيرها ، مكونة طبقة رقيقة على سطح المركب (المعدن) ، وعليه تتشبث فقاعات الهواء بأسطح حبيبات هذا المركب دون المركب الآخر ، فينشأ تباين فى كثافة المركبات الكيميائية التى تؤلف الخامة المعدنية للألومنيوم ، فيطفو بعضها إلى سطح اللباب ، بينما يظل بعضها الآخر مستقرا فى القاع . ولكى يسهل تجميع الحبيبات الطافية بسهولة ، تضاف بعض الرغويات التى من شأنها التمسك بهذه الحبيبات ، وخفض التوتر السطحى للماء . والرغويات هى فى الواقع مركبات عضوية مختلفة مثل الزيوت ، والصابون ، والراتنجات (الأصباغ) .

وقد تضاف بعض العوامل غير العضوية لتنشيط أسطح الحبيبات المطلوب فصلها بالطفو ، حتى يزداد استعدادها لتقبل العوامل العضوية السابق ذكرها .

ومن الواضح أنه من الممكن أن تكون المادة المطلوبة هى التى تطفو ، أو العكس . وتعمل مكنة التعويم بصفة مستمرة ، حيث يشحن اللباب داخل المكنة دون انقطاع ، وتفرغ النواتج بصفة مستمرة .

ويبين الشكل (١٨) إحدى وحدات التعويم الميكانيكية ، وهى تتكون من خزان على شكل متوازى المستطيلات ، يجرى تقسيمه بفواصل عرضية إلى عدد من الخلايا . ويشحن اللباب خلال

الفتحة (١) حيث ينساب إلى الخلية الأولى عبر الأنبوبة (٢) ، ويجرى تقليبه بشدة بواسطة قلاب سريع الحركة (٣) وتغطى من أعلى بالقرص (٤) . ويندفع الهواء بالسحب خلال الأنبوبة(٥) خلالالفتحة (٦) ، فيختلط اللباب معالفقاعات الصغيرة للهواء، ثم يرفع فوق الشبكة (٨). وينتقل اللباب من الخلية الأولى إلى صندوق أوسط عبر عارضة التوجيه (٩) ، وهكذا يمر اللباب والرغاوى خلال جميع الخلايا فى المكنة . حيث تزال الرغاوى بواسطة أذرع متحركة (٧) . أما النفاية فتفرغ باستمرار من الخلية الأخيرة . وتسحب الرغوة بواسطة أدوات القشط إلى قنوات جانبية مفتوحة (١٠) . وعندما يراد إعادة التعويم بغرض التنظيف ، تمرر الرغوة فى القنوات الجانبية حيث تعود ثانية إلى الخلايا المخصصة لها عبر الأنابيب (١١) . ويوضح الشكل (١٩) رسما توضيحيا مبسطا لخطوات عملية التعويم .

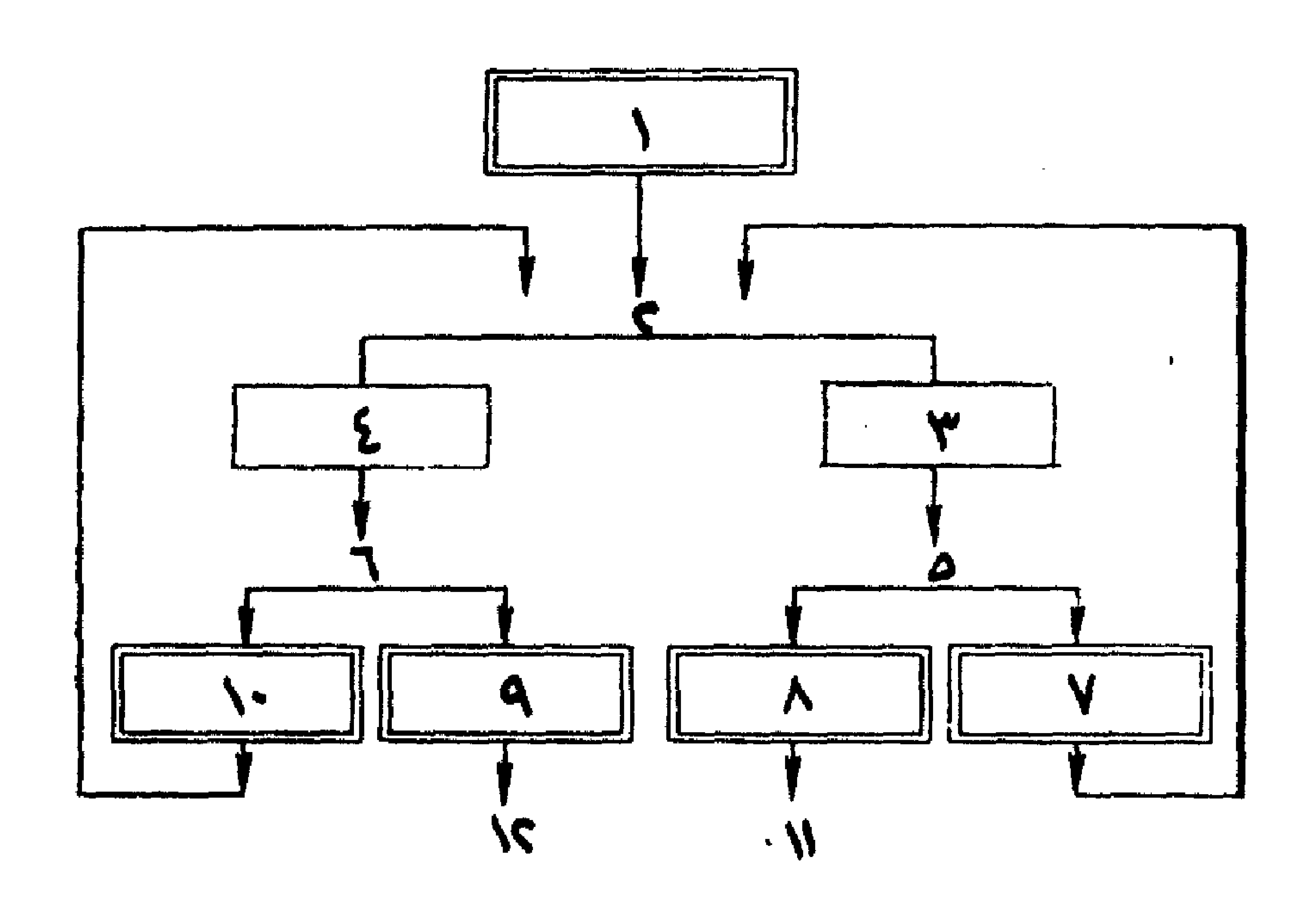


شكل (١٨)

وحدة تقويم ميكانيكية تستخدم فى عمليات تركيز الخامة المعدنية للألومنيوم :

(أ) شحن اللباب (الخامة المعدنية مع الماء) .

١ — فتحة لاستقبال شحنة اللباب	٢ — أنبوبة
٣ — قلاب سريع الحركة	٤ — قرص
٥ — أنبوبة توصيل	٦ — فتحة يمر خلالها الهواء
٧ — أذرع لإزالة الرغاوى	٨ — شبكة
٩ — عارضة توجيه	١٠ — قنوات جانبية مفتوحة
١١ — أنابيب توصيل	



شكل (١٩)

رسم توضيحي يبين الخطوات المتعاقبة التي تتم خلال عملية تعويم تهدف إلى تركيز الخامة المعدنية للألومنيوم :

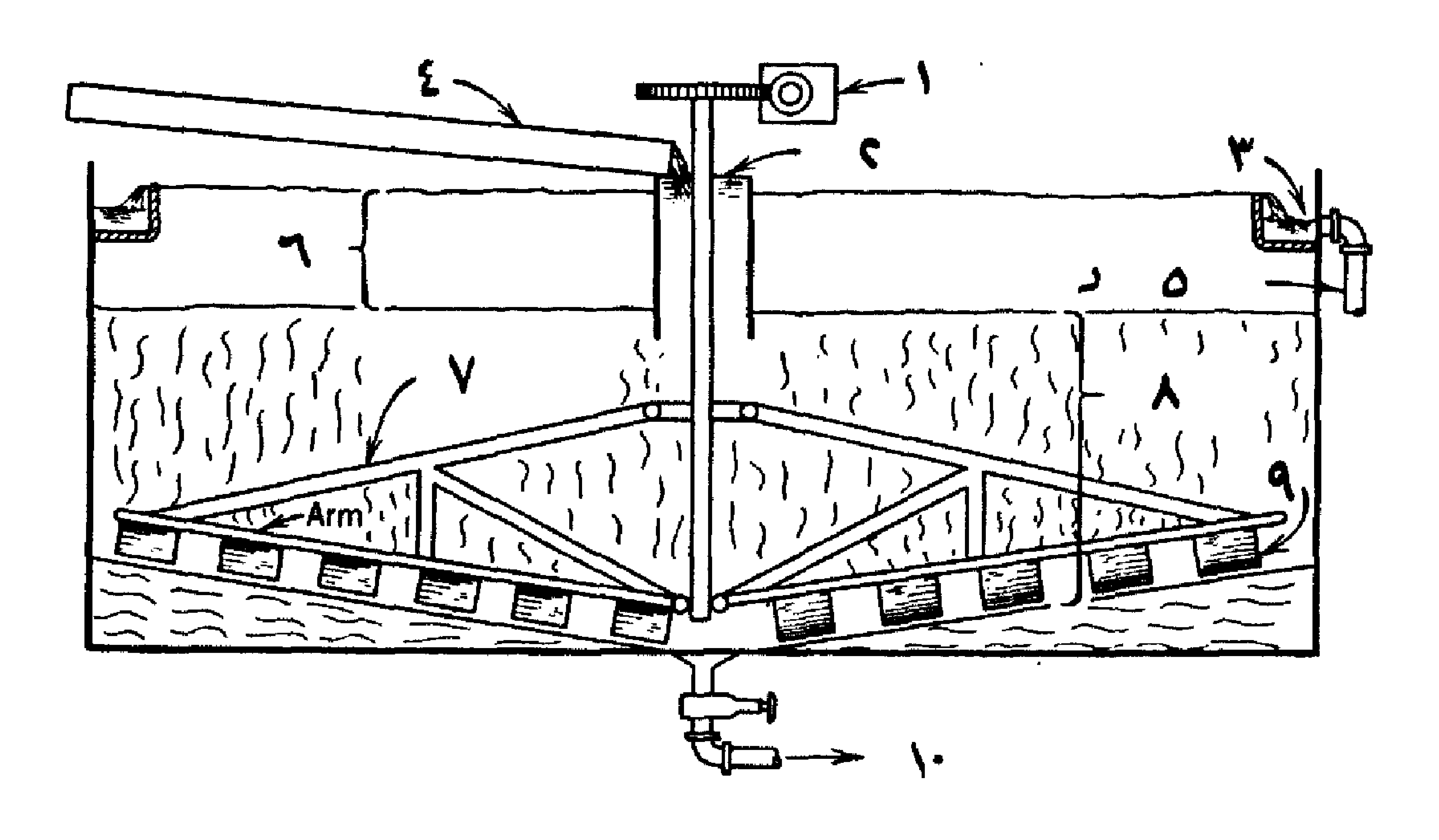
١ – لباب الخامة المعدنية
٢ – عملية التعويم الرئيسية
٣ – رغاوى مزالة
٤ – لباب الخامة المعدنية بصورة مركزة
٥ – عملية تعويم إضافية بهدف التنقية
٦ – عملية تعويم المراجعة
٧ – لبـــاب
٨ – خامة معدنية مركزة
٩ – نفايات
١٠ – رغاوى
١١ – إلى عمليات ميتالورجية لاحقة لتغليظ الخامة المعدنية
١٢ – نفايات يجرى التخلص منها

استعادة الخامة المعدنية بعد تركيزها من اللباب :

نتيجة لعمليات التركيز السابق ذكرها ، نحصل على اللباب على هيئة عجينة مشبعة بالمـاء ، ويكون اللباب محتويا على ركاز خام الألومنيوم ، وقبل إجراء العمليات الميتالورجية الكيميائية التالية لهذه العملية ، خاصة تلك التي تجرى عند درجات حرارة مرتفعة ، يلزم فصل المـاء من اللباب ، للحصول على ركاز الخام جافا تماما .

وتستخدم لهذا الغرض ثلاث طرق مختلفة هى التغليظ ، والترشيح ، والتجفيف . وفى عملية التغليظ يمكن خفض نسبة الماء فى اللباب إلى ٤٠–٥٠٪ فقط . أما فى عملية الترشيح فيمكن خفض نسبة الماء إلى ١٠٪ فقط . ويستخدم الوقود فى إجراء عملية التجفيف ، إلا أن ذلك لا يضيع هباء ، إذ يمكن التخلص من الماء كلية بهذه الوسيلة .

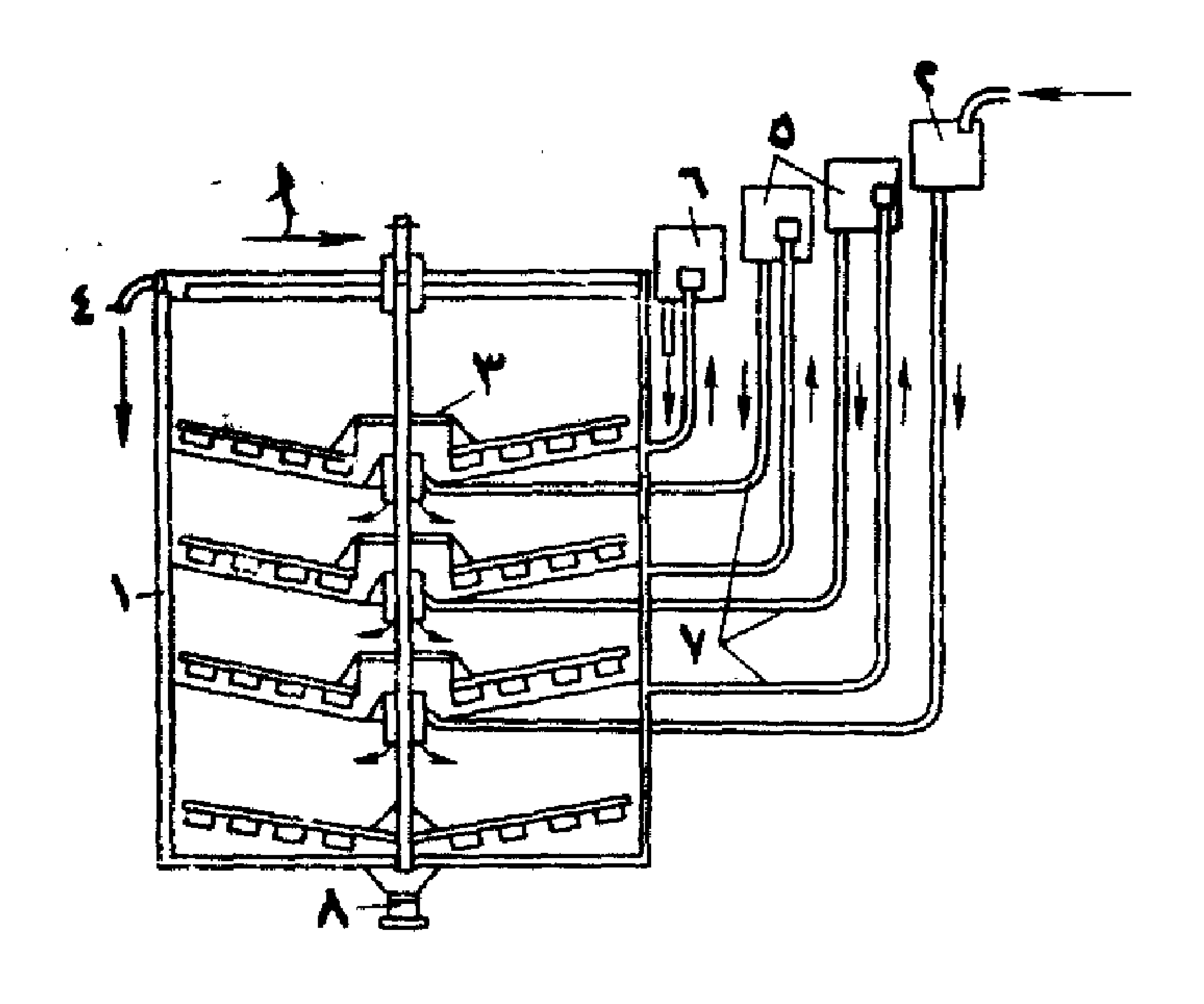
وهناك عدة أنواع من المغلظات التى تستخدم لهذا الغرض ، أهمها المغلظ مركزى التدوير (شكل ٢٠) ، والمغلظ متعدد الأحواض (شكل ٢١) .



شكل (٢٠)

مغلظ مركزى التدوير

١ – جهاز إدارة
٢ – التغذية (شحن الخامة المعدنية المركزة)
٣ – قناة الفيض
٤ – مصب التغذية
٥ – محلول الفيض
٦ – منطقة (أ) تحوى سائلا رائقا
٧ – آلية الجرف
٨ – منطقة (ب)
٩ – ريشة
١٠ – تصريف الكدارة الغليظة القوام .



شكل (٢١)

مغلظ متعدد الأحواض

(أ) شحن اللباب

١ — هيكل الخزان
٢ — خزان مياه الغسيل
٣ — مصيدة
٤ — أنبوبة الفيض
٥ ، ٦ — خزانان لإعادة المحاليل
٧ — أنابيب التوصيل
٨ — فتحة تفريغ الراسب

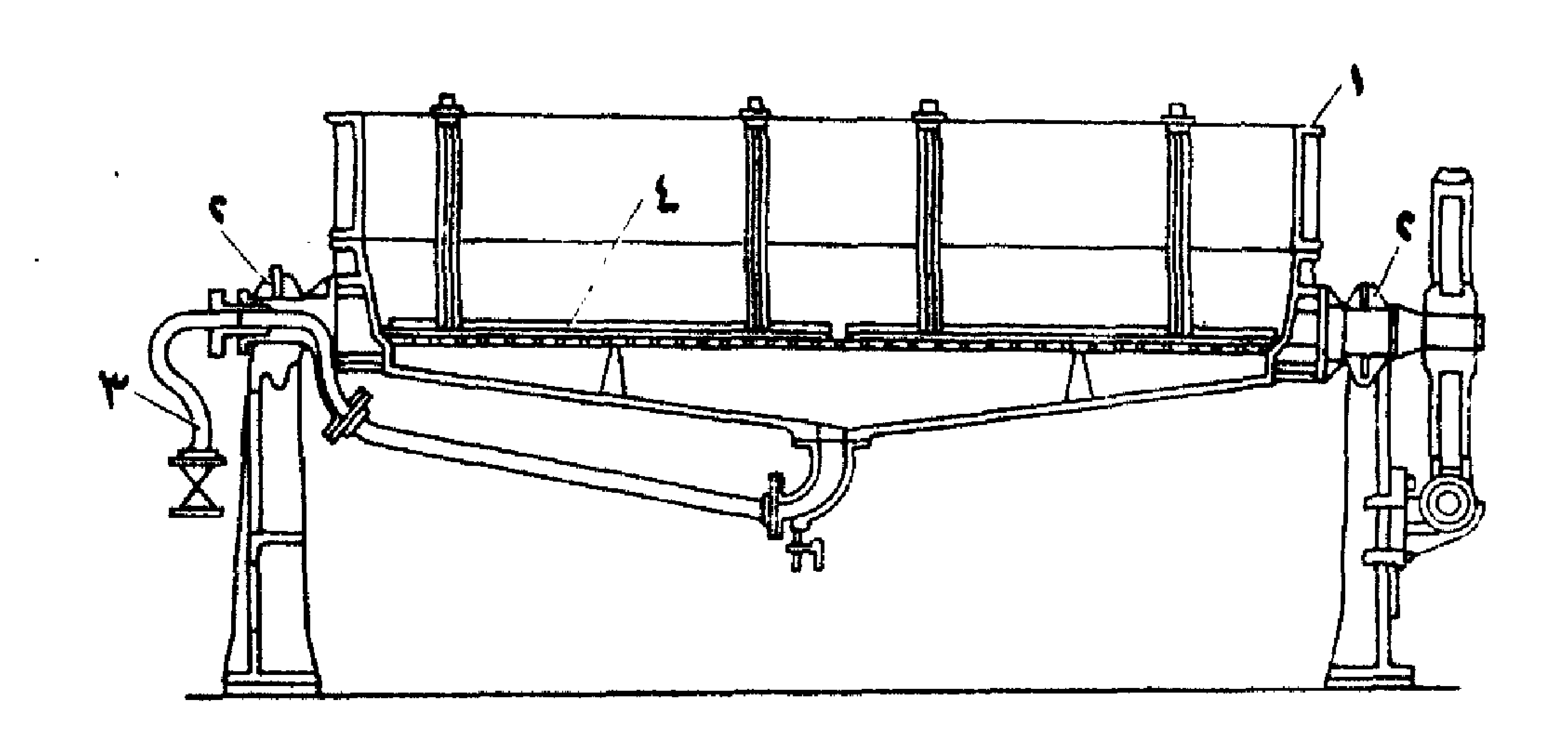
ويتم التغليظ بترسيب حبيبات ركاز الخام ، ويمكن التعجيل بعملية الترسيب ، بإضافة مواد مجمعة تعمل على تجميع الحبيبات بعضها إلى بعض . ومن هذه المواد المجمعة الجير الحى وبعض الراتنجات . وينفصل الماء المكون للباب رائقا .

ويتكون المغلظ مركزى التدوير من خزان أسطوانى (٤) يصل قطره فى بعض الأحيان إلى ١٠٠ متر . ويشحن اللباب داخل الخزان باستمرار خلال قمع الشحن (١) الذى يتحد محوره مع محور الخزان ، حتى مستوى قناة الفيض (٣) . وبترسيب الحبيبات الدقيقة من اللباب ، تتكون طبقة رائقة من الماء تتدفق باستمرار فى القناة . وتترسب الحبيبات على القاع المخروطى الذى يميل قليلا فى اتجاه المحور (كما فى الشكل ٢٠) حيث يوجد جهاز التفريغ . وتكشط الحبيبات المترسبة من الجوانب إلى المحور ، بواسطة مجارف ميكانيكية .

ويتكون المغلظ متعدد الأحواض من عدة أحواض ترسيب ، يوضع الواحد منها فوق الآخر ، كما فى الشكل (٢١) .

وفى عملية الترشيح ، يمكن الحصول على الحبيبات الدقيقة ، بإنفاذ السائل رائقا خلال أقمشة مسامية تحجز الدقائق الصلبة . ويتكون قاش الترشيح من نسيج طبيعى قطنى أو صوفى ، أو مصنوع من الألياف الاصطناعية . ويتم اختيار القماش على أساس ثباته كيميائيا فى وسط من السوائل التى يراد ترشيحها . وتعتمد سرعة الترشيح وإنتاجية المرشحات على مقدار الفرق فى الضغط ومقدار الضغط المفقود خلال مسام العجينة وقاش الترشيح ، وكلما ازدادت العجينة المترسبة سمكا ، قلت سرعة الترشيح ، ويحدث نفس التأثير عندما تغطى الجسيمات المترسبة مسام قاش الترشيح .

ولزيادة كفاءة المرشح وسرعة الترشيح ، تستخدم مرشحات تعمل بالتفريغ (الخلخلة) ، حيث يكون هناك فرق فى الضغط بواسطة الخلخلة فى مجمع المواد المرشحة والمرشحات ، وأحد هذه المرشحات هو مرشح نوتش ، المبين فى الشكل (٢٢) .

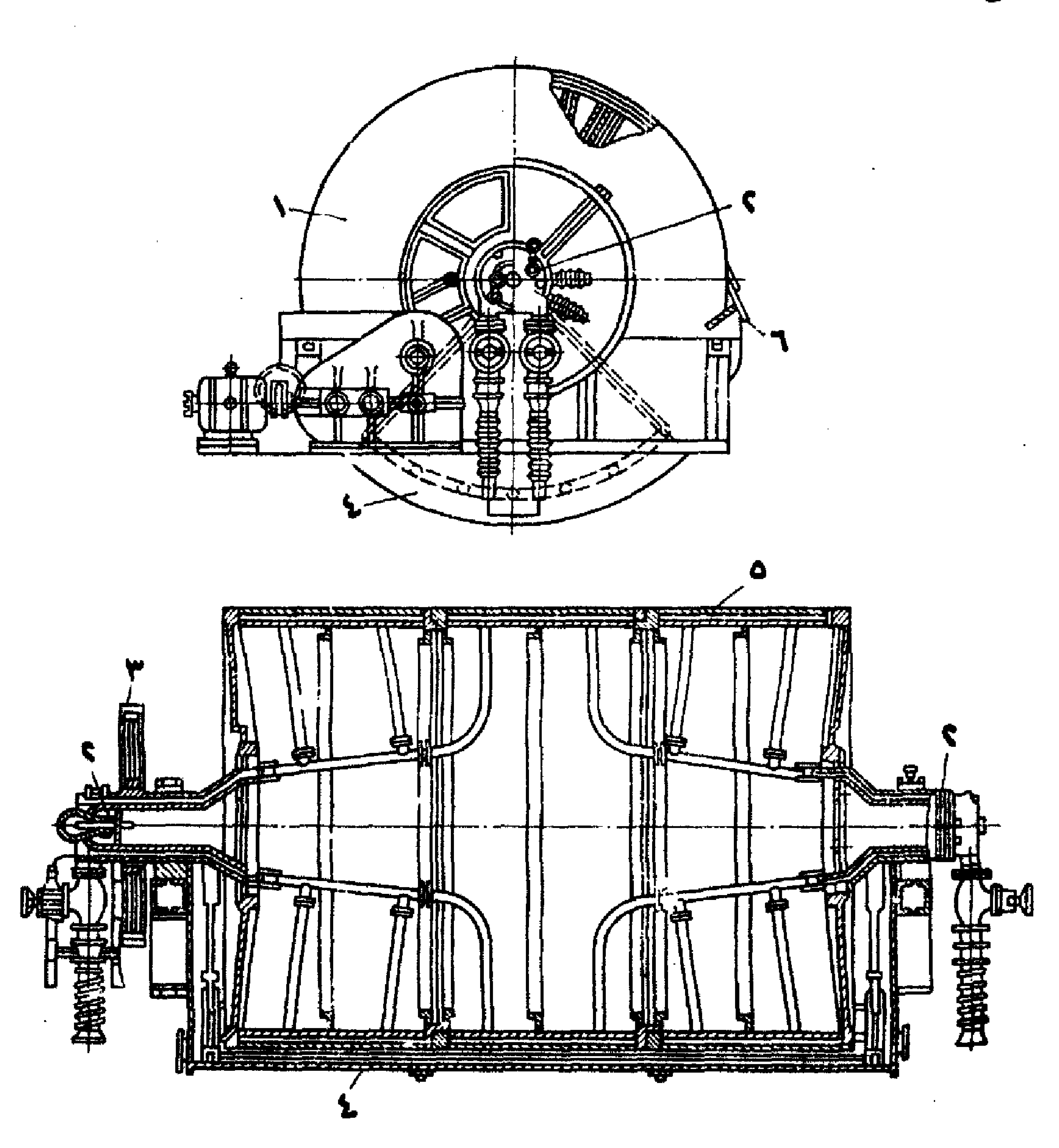


شكل (٢٢) مرشح نوتش

١ — خزان
٢ — مرتكز دورانى
٣ — ماسورة التفريغ
٤ — قاع وهمى

ويبين الشكل (٢٣) رسما توضيحيا لمرشح أسطوانى بالتفريغ ، وهو يتكون من أسطوانة خلخلة ذات ثقوب ، تغطى بقماش الترشيح ، وتثبت أفقيا بحيث تدور حول محورها الأفقى . وتنقسم الأسطوانة من الداخل طوليا إلى عدد من الغرف ، يتصل كل منها بواسطة أنابيب وبصمام منزلق ، ويوصل الحوض عند دوران الأسطوانة بمضخة تفريغ الهواء . وعند التشغيل يغطى ثلث أو ربع الأسطوانة الأسفل باللباب . وتدور الأسطوانة بمعدل يتراوح بين ٠,١٣—٢ لفة فى الدقيقة ، فتترسب الدقائق الصلبة على القماش ، مكونة عجينة يتراوح سمكها بين ٦ و ١٥سم ،

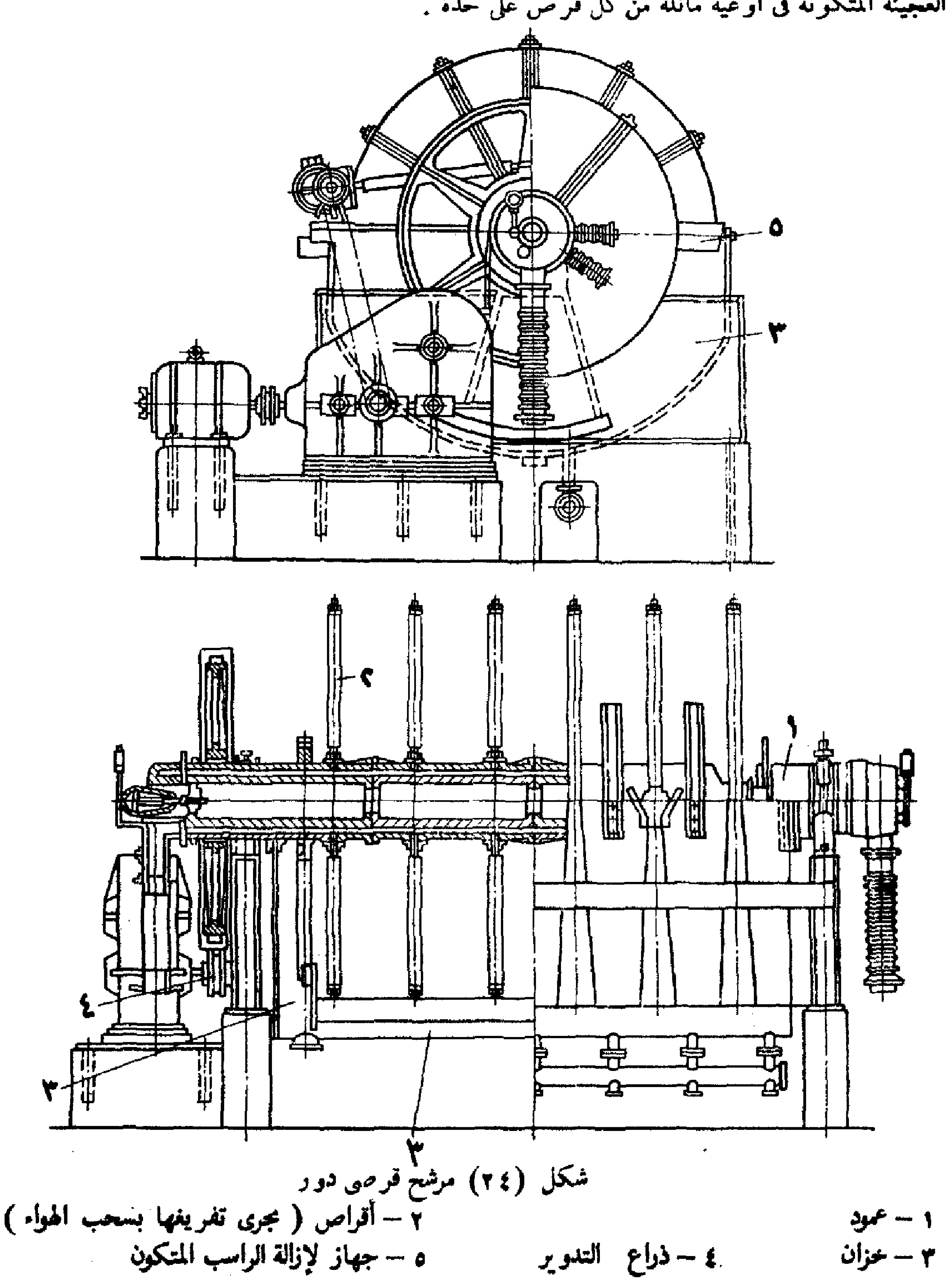
وينفذ السائل رائقا خلال القماش ، وبعد ذلك يعمل التفريغ (الفرق بين الضغطين على جانبي القماش) على تخليص العجينة مما تبقى بها من السائل . وقد تغسل العجينة عندئذ برشها بتيار من رذاذ الماء . وفى النهاية يوصل الصمام بهواء مضغوط يعمل على دفع العجينة بعيداً عن القماش فتقع متشققة فى اتجاه القاع المائل حيث يمكن جمعها .



شكل (٢٣) مرشح اسطوانى بالتفريغ

١ ـ هيكل اسطوانى
٢ ـ صمام التوزيع
٣ ـ ذراع تدوير
٤ ـ خزان
٥ ـ شبكة مكسية بقماش ترشيح
٦ ـ سكين لإزالة الراسب المتكون

والمرشحات القرصية الدوارة (الشكل ٢٤) تتشابه مع المرشحات الأسطوانية فى مبدأ تشغيلها ، ولكنها تختلف عنها فى أن قماش الترشيح يكون مثبتا ، إذ يجرى تثبيته على أقراص تتألف من قطاعات منفصلة . وتوجد على سطح القطاعات الخشبية أو المعدنية مجار ترتبط بأنبوبة تصريف السائل عند المحور المركزى . ومن خلالها ترتبط مع الصمام المنزلق ، ويجرى كشط العجينة المتكونة فى أوعية مائلة من كل قرص على حدة .

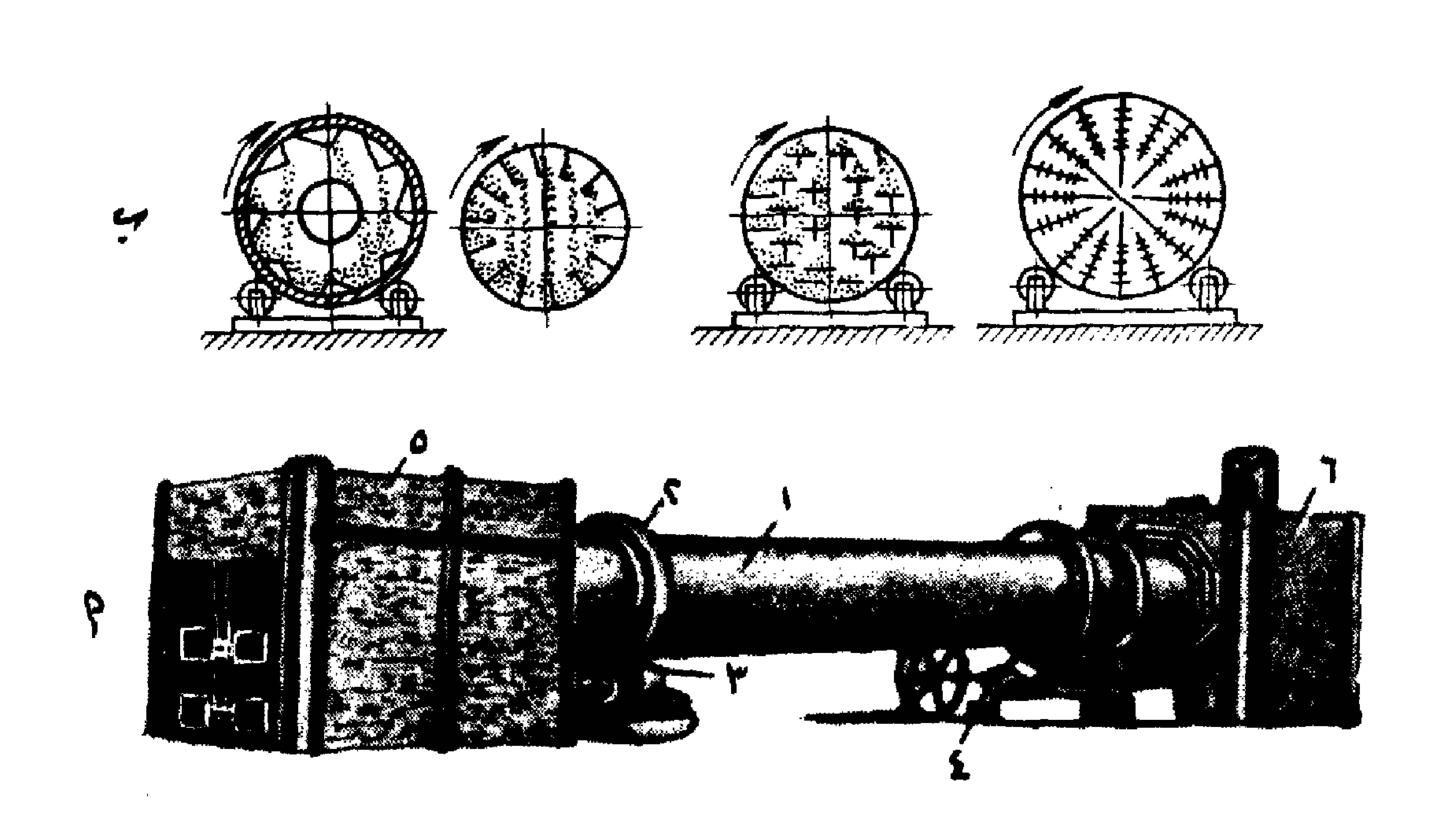


شكل (٢٤) مرشح قرصى دور

١ — عمود　　٢ — أقراص (مجرى تفريغها بسحب الهواء)
٣ — خزان　　٤ — ذراع التدوير　　٥ — جهاز لإزالة الراسب المتكون

التجفيف :

يمكن التخلص من الماء بتبخيره بواسطة التجفيف ، ويتم ذلك فى فرن دوار كما فى الشكل(٢٥) ويتكون هذا الفرن أساسا من أنبوبة أسطوانية تصنع من الفولاذ طولها ٨–١٢مترا ، وقطرها ١٫٥–٢ مترا . وتميل هذه الأنبوبة على الأفقى بزاوية ١–٢° ، وتدور الأنبوبة بمعدل ٣–٨ دورات فى الدقيقة ، وتثبت بداخل جسم الأنبوبة عوارض توجيه ، تعمل على تقليب المواد لدى دورانها . وتشحن المادة التى يراد تجفيفها ميكانيكيا ، وتتساقط فى أثناء دوران الفرن على العوارض ، وتتحرك تدريجيا تجاه الطرف الآخر للفرن . وتتدافع غازات التسخين الناتجة عن احتراق الوقود فى اتجاه يضاد حركة المواد ، وبهذه الكيفية يمكن التخلص من الرطوبة بالعجينة بكفاءة عالية .



شكل (٢٥) فرن تجفيف دوار

(ا) منظر عام للفرن

١ – الهيكل الاسطوانى للفرن
٢ – حلقة دورانية تدور خلالها اسطوانة الفرن
٣ – اسطوانات دحروجية
٤ – جهاز نقل الحركة
٥ – الفرن
٦ – الشحن

(ب) قطاعات فى العوارض المختلفة الموجودة بالفرن

٣ – إنتاج المواد المساعدة فى صناعة الألومنيوم

(ا) إنتاج الكريولايت :

يتم الحصول على الألومنيوم فلزا خالصا نقيا ، بالتحليل الكهربائى لمصهور أكسيده (الألومينا) بعد تركيزه وتنقيته . ولكن ارتفاع درجة حرارة انصهار أكسيد الألومنيوم ، تجعل تكاليف عملية التحليل غير اقتصادية ، ويحول ذلك دون استخدام مصهور الألومينا منفردا ، مما أدى إلى البحث عن وسط مناسب للتحليل الكهربائى (الكتروليت) ، وقد وجد أن استخدام الكربولايت كعامل صهور يساعد كثيرا على خفض درجة حرارة انصهار الألومينا ، مما جعل عملية استخلاص الألومنيوم مناسبة من الناحية الاقتصادية .

والكريولايت مركب كيميائى يتألف من فلوريد ثنائى للألومنيوم والصوديوم يشبه الجليد فى مظهره ، وكلمة « كريولايت » يعنى فى اليونانية « الصقيع » و« الحجر » لشبهه الكبير بهما .

ويوجد الكريولايت طبيعيا فى أرجاء متفرقة من العالم ، إلا أنه لا يعرف فى الوقت الراهن ، سوى مصدر وحيد لحصول تجاريا على هذا المركب الكيميائى ، ويقع هذا المصدر بمنطقة إيفجت على الشاطئ الغربى لجزيرة جرينلاند ، حيث تتوافر كميات كبيرة من الكريولايت الصالح للاستخدام صناعيا .

ونظرا لارتفاع سعر الكريولايت وصعوبة استيراده ، يحصل عليه حاليا ، وكذلك على مكونيه فلوريد الألومنيوم (لوفل ٣) ، وفلوريد الصوديوم (ص فل) ، من الفلورسبار بطريقة اصطناعية .

ولحصول على الكريولايت اصطناعيا ، يجرى تركيز الفلورسبار الطبيعى بالطرق الميتالورجية الفيزيقية المختلفة لحصول على خام مركز يحتوى على فلوريد الكلسيوم (كافل ٢) بنسبة تصل إلى ٩٦٪ . ومن هذا الخام المركز ، يمكن الحصول على الكريولايت وعلى غيره من أملاح الفلور بالطرق الحمضية ، كما فى الشكل (٢٦) ، حيث يسخن الفلورسبار بعد خلطه بحمض الكبريتيك تحت درجة حرارة ٢٠٠ °م ، فى أفران أنبوبية دوارة ، فيتولد غاز فلوريد الهيدروجين (يد فل) ، وتتكون كبريتات الكلسيوم ، تبعا للتفاعل التالى :

كا فل$_{٢}$ + يد$_{٢}$ كب أ$_{٤}$ = كا كب أ$_{٤}$ + ٢ يد فل (غاز) .

ويتفاعل جزء من فلوريد الهيدروجين (يدفل) مع السليكا ، وينتج عن هذا التفاعل تكون المركب سيليكو فلوريد الهيدروجين (يد$_{٢}$ س فل$_{٦}$) طبقا للتفاعل التالى :

الخطوة الأولى : س أ$_{٢}$ + ٤ يد فل = س فل$_{٤}$ + ٢ يد$_{٢}$ أ

الخطوة الثانية : س فل$_{٤}$ + ٢ يد فل = يد$_{٢}$س فل$_{٦}$

إدماج الخطوتين معا : س أ$_{٢}$ + ٦ يد فل = يد$_{٢}$س فل$_{٦}$ + ٢ يد$_{٢}$ أ

وتجرى الخطوة الثانية عادة خارج الفرن ، حيث يتم الحصول على محلول حمض الهيدروفلوريك (يد فل) مختلطا بقليل من حمض الهيدروسليسيك (يد$_{٢}$ س فل$_{٦}$) .

وتضاف كربونات الصوديوم إلى حمض الهيدروفلوريك لتنقيته ، ويؤدى ذلك إلى تكون المركب سيليكو فلوريد الصوديوم (يتسم بأنه شحيح الذوبان فى الماء) ، كما فى التفاعل الآتى :

يد$_{٢}$ س فل$_{٦}$ + ص$_{٢}$ ك أ$_{٣}$ = ص$_{٢}$ س فل$_{٦}$ + يد$_{٢}$ أ + ك أ$_{٢}$

الذى ينتج عنه ترسيب المركب سيليكوفلوريد الصوديوم ص$_{٢}$س فل$_{٦}$ ، وبذلك يمكن التخلص من السيليكا الموجودة بالخام .

وبعد تنقية حمض الهيدروفلوريك ، تذاب فيه كمية محسوبة من الألومينا ثلاثية الهيدرات (لو$_{٢}$ أ$_{٣}$ ، ٣ يد$_{٢}$ أ) كما فى التفاعل التالى :

١٢ يد فل + لو$_{٢}$ أ$_{٣}$ ، ٣ يد$_{٢}$أ = ٢ يد$_{٣}$ لو فل$_{٦}$ + ٦ يد$_{٢}$ أ

وتجرى معادلة حمض الهيدرولوفلوريك (يد$_{٣}$ لوفل$_{٦}$) الناتج من هذا التفاعل فى نفس الجهاز ، بإضافة كربونات الصوديوم للحصول على الكريولايت الشحيح الذوبان فى الماء ، ويخضع التفاعل للمعادلة التوضيحية الآتية :

٢ يد$_{٣}$ لوفل$_{٦}$ + ٣ ص$_{٢}$ ك أ$_{٣}$ = ٢ ص$_{٣}$ لوفل$_{٦}$ + ٣ يد$_{٢}$أ + ٣ ك أ$_{٢}$

ويمكن كتابة الصيغة الكيميائية للكريولايت ص$_{٣}$ لو فل$_{٦}$ على هيئة مركب مزدوج لفلوريد الصوديوم والألومنيوم ، أى هكذا : (لو فل$_{٣}$ ، ٣ ص فل) .

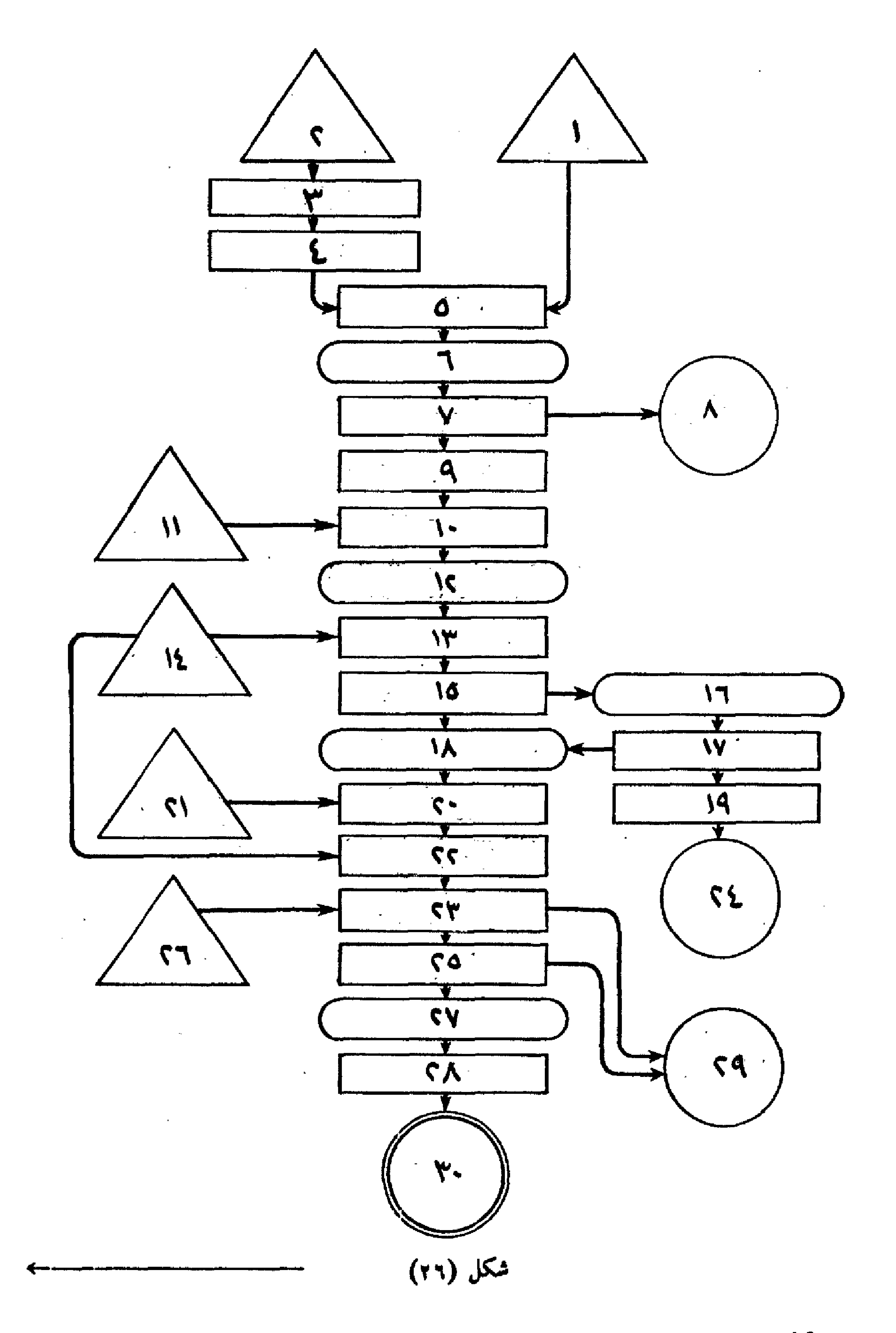
بعد ذلك يتم فصل الكريولايت الذى يكون قد ترسب لذوبانه الشحيح فى الماء حيث يغسل ، ويجفف عند درجة حرارة ١٦٠° م .

وإذا كان الهدف هو الحصول على أملاح الفلور الأخرى مثل فلوريد الألومنيوم لوفل$_{٣}$ ، أو فلوريد الصوديوم ص فل ، فيمكن الحصول عليهما بمعاملة حمض الهيدروفلوريك لمعادلته بهيدروكسيد الألومنيوم ، أو بكربونات الصوديوم على الترتيب :

٣ يد فل + لو (أ يد)$_{٣}$ = لو فل$_{٣}$ + ٣ يد$_{٢}$ أ

، ٢ يد فل + ص$_{٢}$ ك أ$_{٣}$ = ٢ ص فل + ك أ$_{٢}$ + يد$_{٢}$ أ

وتنطوى عمليات إنتاج الكريولايت بالطريقة الحمضية على عدة أخطار جسيمة ، إذ يتسم فلوريد الهيدروجين يد فل ، وحمض الهيدروفلوسيلسيك يد$_{٢}$ س فل ، بسمية عالية يجب الوقاية منها ، كما تستلزم استخدام أجهزة تقاوم الأحماض ، مما يزيد من تكاليف العملية .



١
٢
٣
٤
٥
٦
٧
٨
٩
١٠
١١
١٢
١٣
١٤
١٥
١٦
١٧
١٨
١٩
٢٠
٢١
٢٢
٢٣
٢٤
٢٥
٢٦
٢٧
٢٨
٢٩
٣٠

شكل (٢٦)

رسم توضيحي يبين العمليات المتعاقبة لإنتاج الكريولايت اصطناعيا بأسلوب حمضي :

١ – حمض كبريتيك
٢ – فلورسبار طبيعي مركز
٣ – عملية الطحن
٤ – عملية التجفيف
٥ – خلط ركاز الفلورسبار مع حمض الكبريتيك
٦ – اللباب الناتج (فلورسبار + حمض كبريتيك) .
٧ – شحن اللباب في فرن دوار يعمل عند درجة حرارة ٢٠٠ °م
٨ – كبريتات كلسيوم (جبس) يجرى التخلص منها كنفاية
٩ – تنقية الغازات المتكونة – معظمها غاز فلوريد الهيدروجين
١٠ – عملية امتصاص غاز فلوريد الهيدروجين بواسطة الماء لتكوين حمض الهيدروفلوريك.
١١ – ماء يستخدم في امتصاص غاز فلوريد الهيدروجين
١٢ – حمضا الهيدروفلوريك، والهيدروسليسيك
١٣ – التخلص من السليكا
١٤ – صوداً محمصة
١٥ – جهاز فصل السائل عن اللباب
١٦ – لبـــاب
١٧ – عملية الترشيح
١٨ – حمض الهيدروفلوريك
١٩ – عملية التجفيف
٢٠ – الخطوة الأولى في إنتاج الكريولايت
٢١ – هيدروكسيد الألومنيوم
٢٢ – الخطوة الثانية في إنتاج الكريولايت
٢٣ – غسل النواتج
٢٤ – مركب سليكوفلوريد الصوديوم
٢٥ – عملية الترشيح
٢٦ – ماء يضاف لغسل النواتج
٢٧ – عجينة الكريولايت
٢٨ – عملية تجفيف عجينة الكريولايت
٢٩ – محلول به شوائب يجرى التخلص منه
٣٠ – الكريولايت الناتج

وهناك طريقة أخرى قاعدية يمكن تطبيقها لحصول على الكريولايت ، وتتلخص فكرتها في تلبيد الفلورسبار مع كربونات البوتاسيوم والسيليكا غير المتبلورة . وتحتوى الكتلة الملبدة الناتجة على فلوريد البوتاسيوم (بوفل) القابل للذوبان في الماء . ومن الممكن معاملة هذه الكتلة الملبدة لترسيب بلورات فلوريد الصوديوم (ص فل) بإضافة كربونات الصوديوم . ويرسب الكريولايت الصوديوى بإضافة بلورات فلوريد الصوديوم إلى محلول الألومينات . وتتخذ في كل هذه العمليات إجراءات الأمان ، حتى لا تتصاعد أو تتولد أية غازات سامة تشكل خطرا على صحة العاملين .

(ب) إنتاج الإلكترودات الكربونية ومواد الأنود :

لإنتاج الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربائي لمصهور الألومينا ، تستهلك كميات من الموادالكربونية التي تستخدم في تبطين الخلايا الإلكتروليتية وتكون بمثابة كاثود (مهبط) للخلايا في نفس الوقت ، إلى جانب مواد كربونية يصنع منها أنود (مصعد) الخلايا ، هذا بالإضافة إلى ألواح كربونية تستخدم في تبطين الجدران الجانبية لحوض تجميع الألومنيوم .

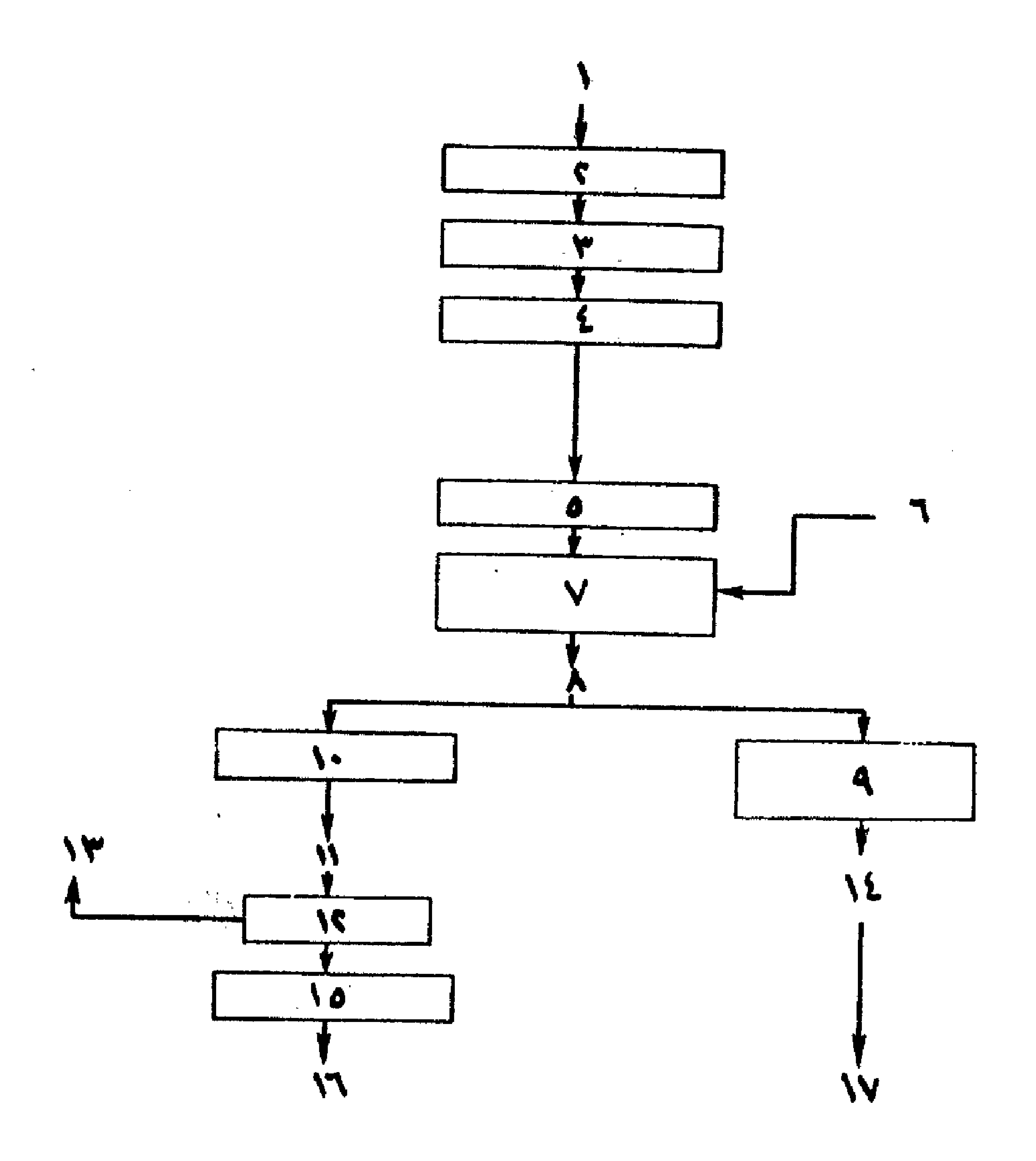
ولإنتاج هذه المواد الكربونية التي تستنفد وتستبدل بها غيرها ، يجب أن تصنع من مركبات كربونية تحتوى على أقل قدر من الرماد ، وإلا فإنه يتخلف عنها عند استهلاكها ، ويدخل في تركيب الألكتروليت المنصهر ، ومن ثم يسبب تلوث الألومنيوم الفلزى .

بالإضافة إلى ذلك ، يجب أن تكون هذه المنتجات الكربونية بمتانة كافية فلا تقل مقاومتها للضغط عن ٢٥٠كجم/ سم٢ ، كما يجب أن تكون كثيفة فلا تزيد المسامية بها على ٢٥٪ .

ويستخدم نوعان من المواد الأولية في إنتاج الأقطاب الكهربائية (الإلكترودات) هما المادة الكربونية الصلبة التي يجهز منها قوام القطب الكهربائي ، والمادة اللاصقة التي تجمع حبيبات المادة الكربونية في جسم صلب .

ومن المواد الصلبة التي يمكن استخدامها ، الأنواع الجيدة من فحم الأنثراسيت ، وفحم الكوك البترولي أو القارى ، اللذان يتخلفان عن عمليات تكرير البترول الخام ، أو بقايا تقطير الفحم الحجرى . وهذه المواد جميعا تمتاز بانخفاض نسبة الرماد بها ، فهى لا تزيد على ٤,٠٪ . ومن المواد اللاصقة التي يمكن استخدامها القطران ، وهو نتاج مرحلة متوسطة عند تقطير قار الفحم الحجرى .

ويمثل الشكل (٢٧) رسما توضيحيا لخطوات تصنيع هذه المواد الكربونية ، وفيها يطحن فحم الأنثراسيت أو فحم الكوك البترولي أو القارى إلى أحجام ٣٠–٥٠ مم في طواحين مناسبة (انظر العمليات الميتالورجية الفيزيقية) ، ثم تدخل الأحجام المناسبة أفران تحميص دوارة ، أنبوبية الشكل ، لتجفيفها أثناء عملية تقطير إتلافية جزئية عند درجة حرارة ١٣٠٠°م ،



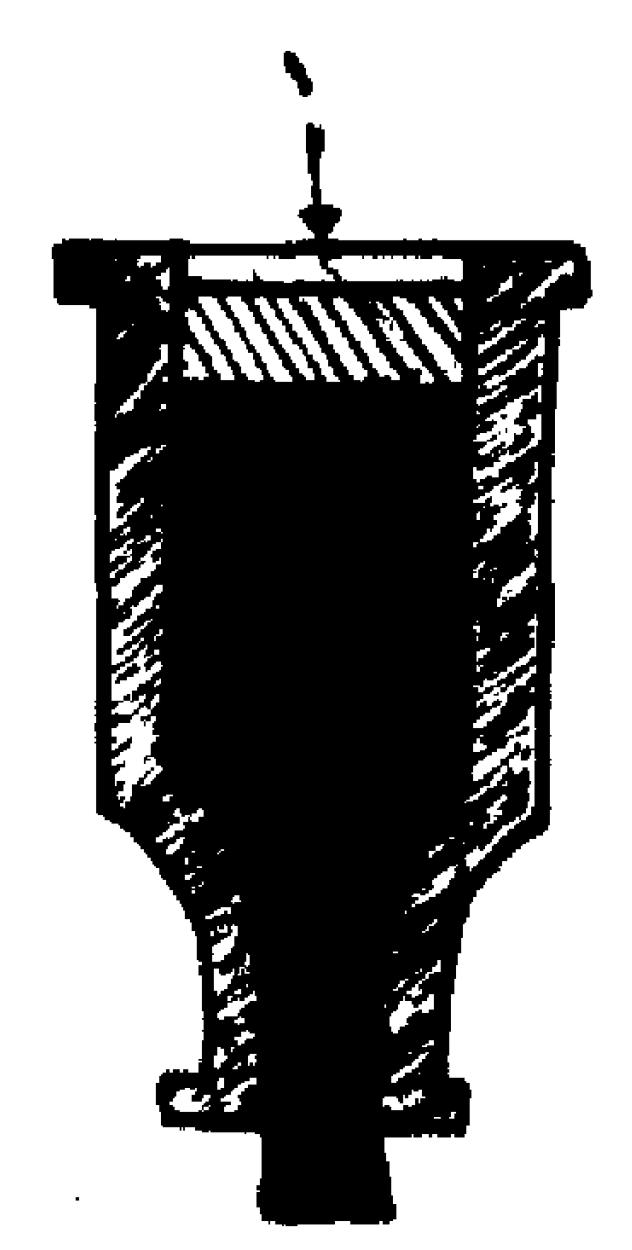
شكل (٢٧)

رسم توضيحى يبين الخطوات المتعاقبة عند تصنيع المواد الكربونية اللازمة فى صناعة الألومنيوم :

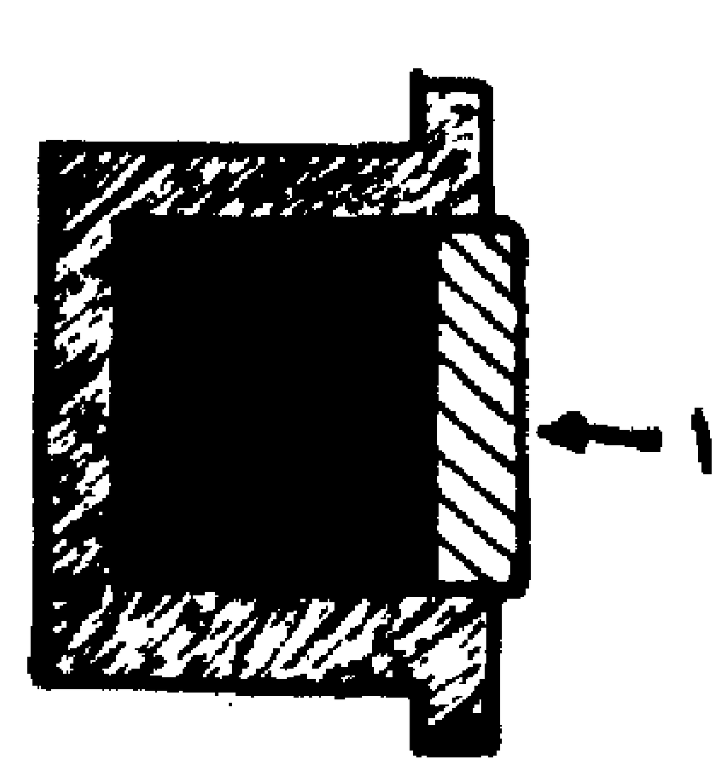
١ – مواد كربونية صلبة
٢ – عملية التكسير
٣ – تحميص المواد الكربونية بعد تكسيرها
٤ – طحن المواد الكربونية المحمصة
٥ – التصنيف
٦ – مواد لاصقة (قطران)
٧ – إضافة المواد اللاصقة والخلط
٨ – المادة الكربونية الناتجة
٩ – الصب فى قوالب تشكيل
١٠ – الكبس إلى الاشكال المطلوبة
١١ – الإلكترودات الخضراء
١٢ – تحميص الإلكترودات الخضراء
١٣ – مواد طيارة
١٤ – قوالب كربونية
١٥ – فحص (تفتيش) المنتجات الكربونية
١٦ – الإلكترودات بصورتها النهائية
١٧ – إلى الأنودات المستمرة

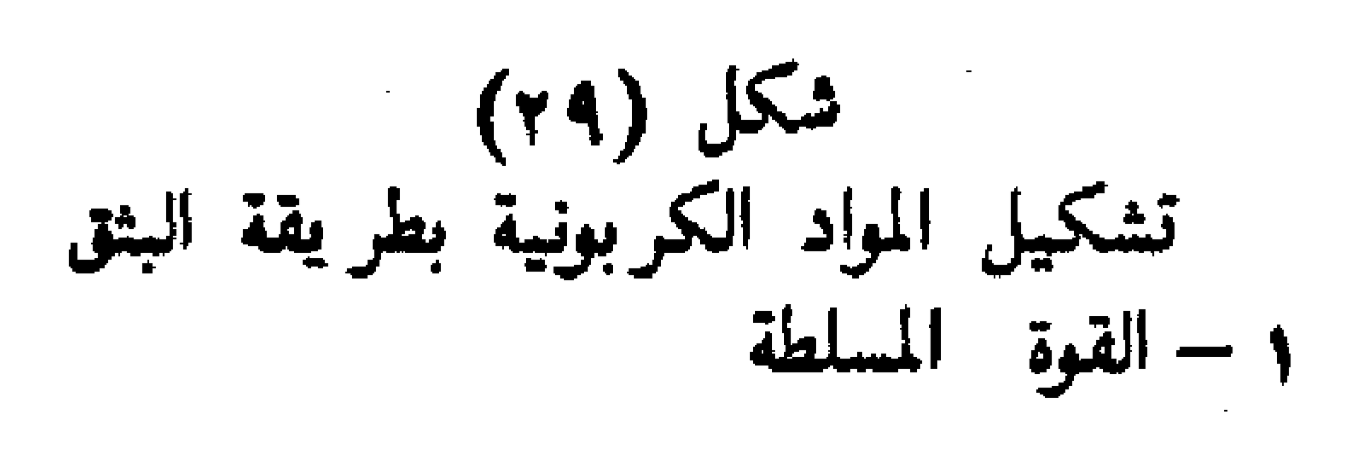
حيث تتصاعد المواد الطيارة من الفحم فلا تزيد نسبتها المتبقية على ٠,٢٪ . وأثناء التحميص تزداد متانة المواد الكربونية ، وموصليتها للكهرباء . وبعد التحميص ، تطحن المواد الكربونية ثم تنخل لتصنيفها تبعا لأحجام حبيباتها ، ثم تخلط مع المواد اللاصقة .

بعد خلط الشحنة جيدا فى خلاطات ميكانيكية عند درجة حرارة ١٢٠°م، يجرى تشكيل الخليط بالكبس تحت ضغط ٢٥٠-٤٥٠ كجم/سم٢ ، ويجب ألا يقل الضغط عن الحد الأدنى ، حتى يمكن الحصول على منتجات متينة تقل مساميتها إلى الحد المطلوب ، كما يجب ألا يزيد الضغط على الحد الأقصى ، حتى لا يؤدى ذلك إلى تفتت الجسيمات الصلبة . ويمكن استخدام طرق الكبس فى تشكيل المنتجات الكربونية كما فى الشكل (٢٨) ، أو طرق البثق لحصول على المنتجات بالأشكال المطلوبة كما فى شكل (٢٩) .



شكل (٢٨)
تشكيل المواد الكربونية بطرق الكبس
١ – القوة المسلطة





شكل (٢٩)
تشكيل المواد الكربونية بطريقة البثق
١ – القوة المسلطة

ولا تكون المنتجات بعد تشكيلها بالمتانة المطلوبة ، كما أنها لا تكون ذات موصلية عالية للكهرباء ، وحتى تكتسب المنتجات هذه المواصفات ، يجرى تحميصها بمعزل عن الهواء عند درجة حرارة ١٤٠٠°م فى أفران مناسبة لمدة قد تصل إلى عشرة أيام ، فتتفحم المادة اللاصقة، وتتحسن خواص المنتجات التى يجرى تبريدها بمعدل بطىء حتى لا تتعرض للتشقق .

وعند إنتاج مادة الأنود (المصعد) لا يكون ضروريا إجراء عمليتى الكبس والتحميص . وتتميز الشحنة التى تصنع منها هذه المادة باحتوائها على نسبة عالية من المادة اللاصقة ، وبعدم إحتوائها على الأنثراسيت .

٤ – إنتـــاج الألومينـا

المبادئ الأساسية لإنتاج الألومينا بطريقة « باير » :

نتعرض فيما يلى للاعتبارات الكيميائية التى تتحكم فى العمليات المختلفة لإنتاج الألومينا بطريقة « باير » .

من الممكن تطبيق هذه الطريقة فى نطاق عريض من درجات الحرارة المختلفة ومحاليل بتركيزات متباينة . ويتضمن اختيار الظروف المختلفة تقييما اقتصاديا معقدا ، استنادا إلى عوامل مختلفة كاستهلاك المواد الخام ، وتكاليف التشغيل ، ورأس المال اللازم .

وعادة ، يمكن معاملة الألومينا التى يحتويها البوكسايت كيميائيا عند درجات حرارة منخفضة بواسطة محاليل ذات تركيز منخفض نسبيا من الصودا ، إذا ما كانت الألومينا فى صورة هيدرات ثلاثية (لو٢أ٣ ، ٣ يد٢ أ) ، بينما تستخلص الألومينا أحادية الهيدرات (لو٢ أ٣ ، يد٢ أ) اقتصاديا عند درجات حرارة أعلى ، ومحاليل أكثر تركيزا . ومما هو جدير بالذكر ، أنه فى الممارسة الحديثة ، تتزايد أهمية الخامات التى تختلط بالألومينا الموجودة فى كلا الصورتين الهيدرات الثلاثية والأحادية ، كخامات البوكسايت التى توجد باستراليا ، وجمايكا ، وغرب أفريقيا . وقد يكون إقتصاديا فى بعض الحالات ، استعادة الألومينا فى صورة الهيدرات الأحادية ، خاصة إذا كان مصنع الألومينا قريبا من مناجم البوكسايت . ومن الممكن معاملة الخامات المختلطة بنفس طريقة معالجة الألومينا النقية .

ومن ناحية أخرى ، فإنه يمكن اختيار الظروف التى تتم فيها عملية الاستخلاص ، بحيث تكون مناسبة لاقتصاديات الوحدة ككل ، وليس كهدف فقط لاستخراج الألومينا . فمثلا يجرى استخلاص الألومينا عند درجات حرارة مرتفعة (٢٤٠°م) ، لتعطى فورا وبصورة اقتصادية ، ألومينا نقية تحت ظروف معينة . كما يتم الحصول فى نفس الوقت على كيات كبيرة من الماء المصعد (بخار الماء) اللازم لدوائر غسل البقايا والنواتج . وينتج عن هذه الطريقة أيضاً ، عند تطبيقها على البوكسايت ، راسب ذو خواص جيدة نسبيا من حيث الترسيب والترشيح ، مع سرعة إزالة السيليكون من السائل .

وفى العادة ، يتم اختيار ظروف الاستخلاص لتسهيل عمليات إزالة السيليكا . فالسيليكا الموجودة كطفل وغيره من السيليكات ، تتذاوب مبكرا فى المراحل الأولى من عملية الاستخلاص عند درجات حرارة منخفضة . وعموما لا تتأثر السيليكا الموجودة فى البوكسايت ككوارتز خلال عملية الاستخلاص عند درجات حرارة منخفضة . ويجب استبعاد السيليكا الذائبة من المحلول فى صورة سيليكات الصوديوم الألومنيومية خلال عملية الاستخلاص ، ولذلك فهى تؤدى إلى فقد جزء من الصودا من المحلول ، كما تضيع كية ألومينا من الخام . وفى العادة يجرى فصل

بقايا البوكسايت بعد عملية الاستخلاص ، و إزالة السيليكون بعد تحويل المحلول إلى محلول جديد بتركيب كيميائى مختلف ، ثم التبريد إلى درجة حرارة الغليان تحت الضغط الجوى المعتاد . ويمكن إجراء عملية الفصل المبدئية فى معدات للترسيب والتغليظ المستمرين ، تتبعها عمليات ترشيح ، استنادا إلى الخواص المميزة بالنسبة للترشيح والترسيب للمتبقى .

وبفصل المتبقى من المغلظ أو المرشح ، فإنه يكون متضمنا مقدارا لا بأس به من كل من الصودا والألومينا فى المحلول . وعموما يمكن استعادتها بغسل المتبقى عدة مرات متتالية بالماء .

وبعد الحصول على المحلول الناتج عن عمليات الترشيح ، يجرى تبريده قبل شحنه إلى المحلل . ويتم التحلل أساسا فى أحواض يجرى تقليبها ، ويختلف تشغيلها اختلافا بينا فى شتى مصانع العالم . ويمكن أن يتم التشغيل بصورة متقطعة ، حيث يتم الحصول على أقراص عجينية من الراسب .

ويجرى فصل الألومينا المتميئة من أجهزة التحلل ثم تغسل . وتدخل المركبات الكربونية المحلول خلال المكونات العضوية التى يحتويها البوكسايت ، وأيضا كغاز ثانى أكسيد الكربون من الجو ، ويجب إزالة هذه المركبات العضوية خلال دائرة التشغيل .

وفى بعض الحالات ، تميل بعض الشوائب الأخرى (خاصة الڤاناديوم ، والفوسفور ، والزنك) إلى التجمع فى المحاليل ، حيث يجرى إزالتها بأساليب كيميائية مناسبة .

ويجرى تعويض المحلول عما يفقده من الصودا ، بإضافة بعض الصودا الكاوية أو كربونات الصوديوم . ويجب إزالة الماء الذى يدخل فى دائرة التشغيل أساسا كطينة أو كماء للغسيل .

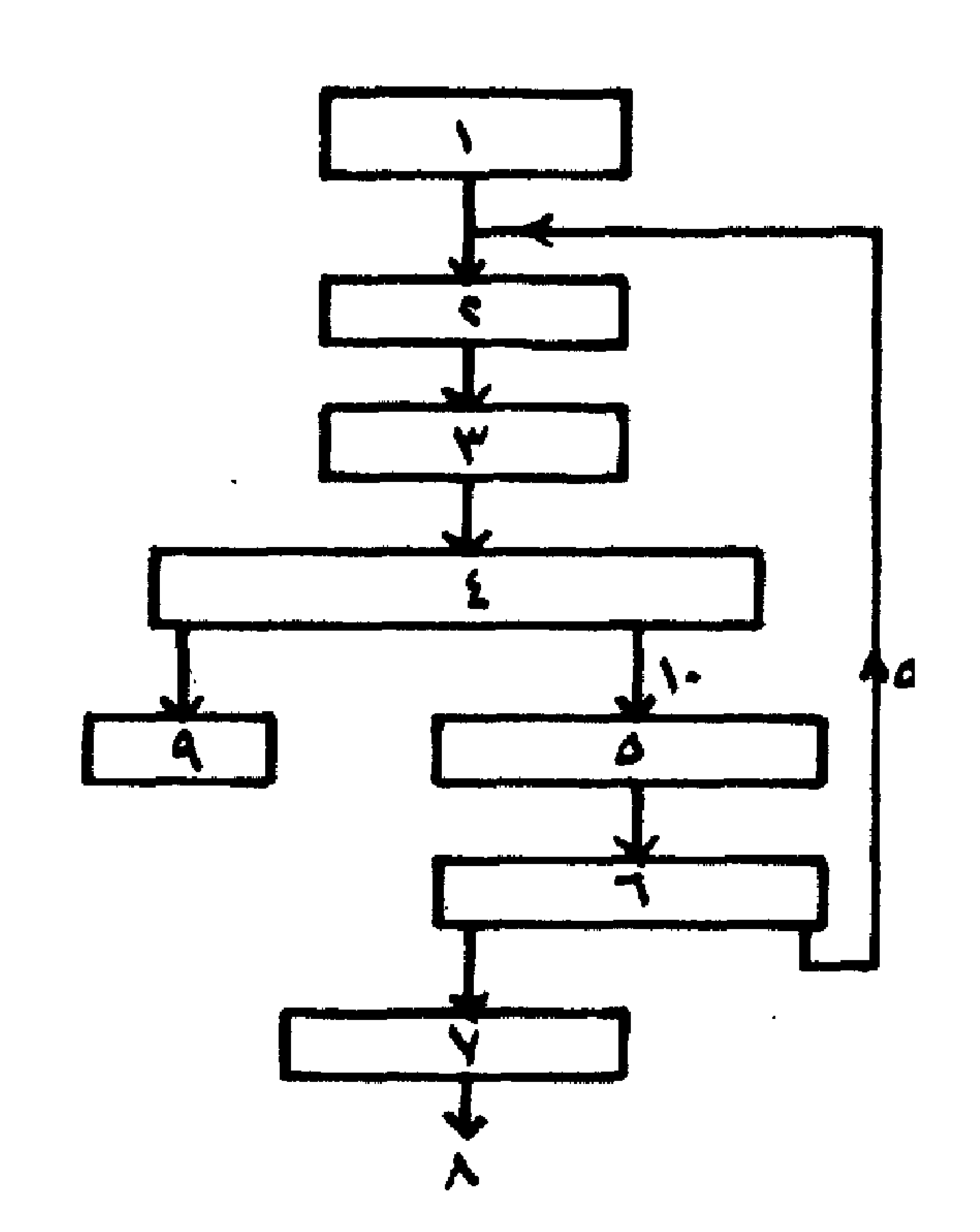
وتميل الاتجاهات الحديثة إلى تبريد المحلول لحظيا بالتبخير (التصعيد) لإزالة بعض هذه المياه أو كلها .

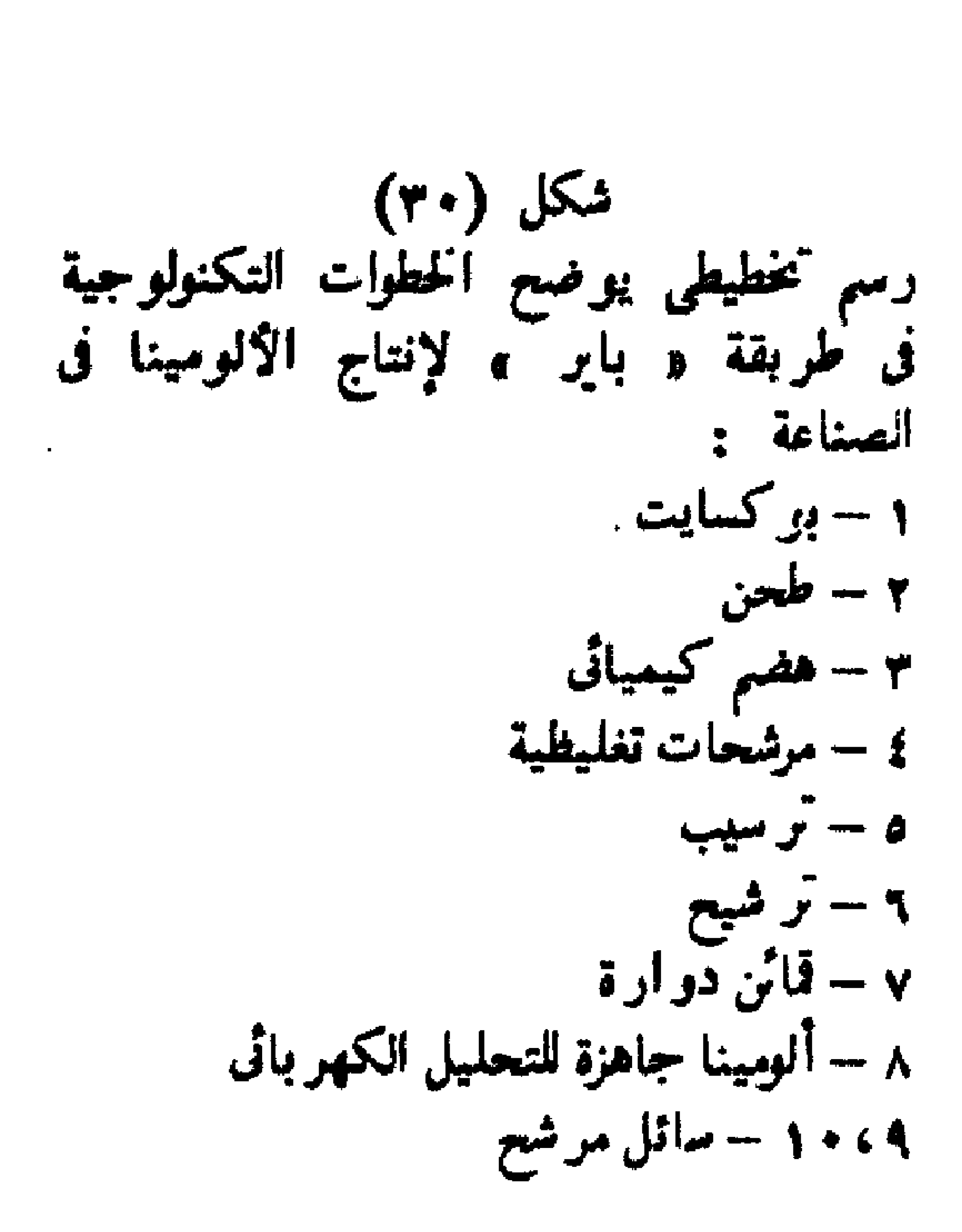
وللتشغيل الاقتصادى ، فإنه من الضرورى النظر إلى طريقة « باير » كدائرة مقفلة متكاملة ، يؤثر كل قسم فيها على العملية ككل .

ويوضح الشكل (٣٠) رسما توضيحيا لطريقة باير ، وقد جرى التعبير عن تركيز الصودا بالمكافئ لأكسيد الصوديوم كجرام فى اللتر ، وتركيز الألومينا لو٢ ا٣ كجرام فى اللتر ، ونسبة المحلول كوزن للألومينا : وزن أكسيد الصوديوم .

مراحل تنقية البوكسايت بطريقة « باير » :

تتعرض خامات البوكسايت لعمليات تعدينية فى مناجمه المكشوفة قريبا من سطح الأرض ، أو على العمق فى طيات القشرة الأرضية . وبعد استخراج كتل البوكسايت التى تكون عادة كبيرة الحجم ، ومختلطة بكثير من الشوائب ، يجرى عليه عدد من العمليات الميتالورچية الفيزيقية التى




شكل (٣٠)

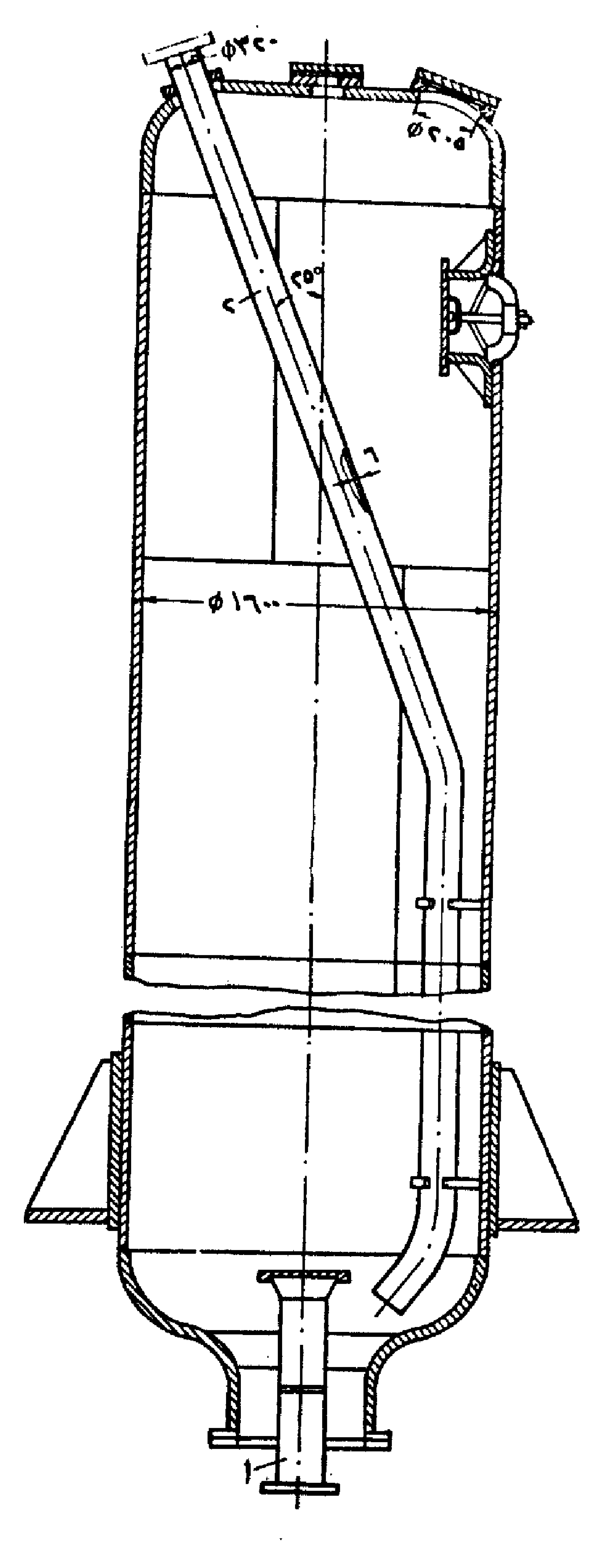
رسم تخطيطي يوضح الخطوات التكنولوجية فى طريقة « باير » لإنتاج الألومينا فى الصناعة :

١ – بوكسايت .
٢ – طحن
٣ – هضم كيميائى
٤ – مرشحات تغليظية
٥ – ترسيب
٦ – ترشيح
٧ – قائن دوارة
٨ – ألومينا جاهزة للتحليل الكهربائى
٩، ١٠ – سائل مرشح

سبق وصفها ، بهدف تركيز خامة البوكسايت ، وإزالة بعض الشوائب منه (كالطفل) ، ثم يجرى تجفيفها بعد ذلك ونقلها إلى وحدات التنقية لإجراء عدد من العمليات الميتالورچية الأخرى عليه – بعضها عمليات فيزيقية وبعضها الآخر كيميائية – حتى يتم تحويلها إلى ألومينا نقية .

وتشمل طريقة باير ، العمليات الكيميائية والفيزيقية المختلفة التى تنتهى بالحصول على بلورات نقية من الألومينا (أكسيد الألومنيوم) ، يمكن الحصول منها بطريقة ميسرة على فلز الألومنيوم . وتبدأ أولى المراحل ، بطحن البوكسايت الذى سبق أن تعرض لعمليات ميتالورجية لتركيزه – طحنا دقيقا . ثم شحنه فى أوعية هاضمة تعرف بالأوتوكلافات . والأوتوكلاف ، الشكل (٣١) ، وعاء ضخم يصنع من الفولاذ ، ومتانته عالية حتى يمكنه تحمل الضغط المرتفع تحت درجات حرارة تصل إلى ٢٠ ٥ °م ، وتسمح بإمكانية تقليب اللباب الموجود داخله. وتستخدم الأوتوكلافات التى يجرى تسخينها بواسطة البخار على نطاق واسع لبساطة تصميمها . ويدخل البخار فى هذه الأوتوكلافات خلال الفتحة (١) ، وتعمل فقاعات البخار أثناء تصاعدها إلى السطح ، على تسخين اللباب وتقليبه بشدة ، وتفرغ محتويات الأوتوكلاف خلال الأنبوبة (٢).

وهناك نوع من الأوتوكلافات ميكانيكية التقليب ، فيها يجرى التسخين بصورة غير مباشرة ، أى بواسطة مواسير يندفع خلالها البخار المخصص فى معزل عن اللباب ، ولكن كفاءة هذه الأوتوكلافات منخفضة ، ولها كثير من العيوب .



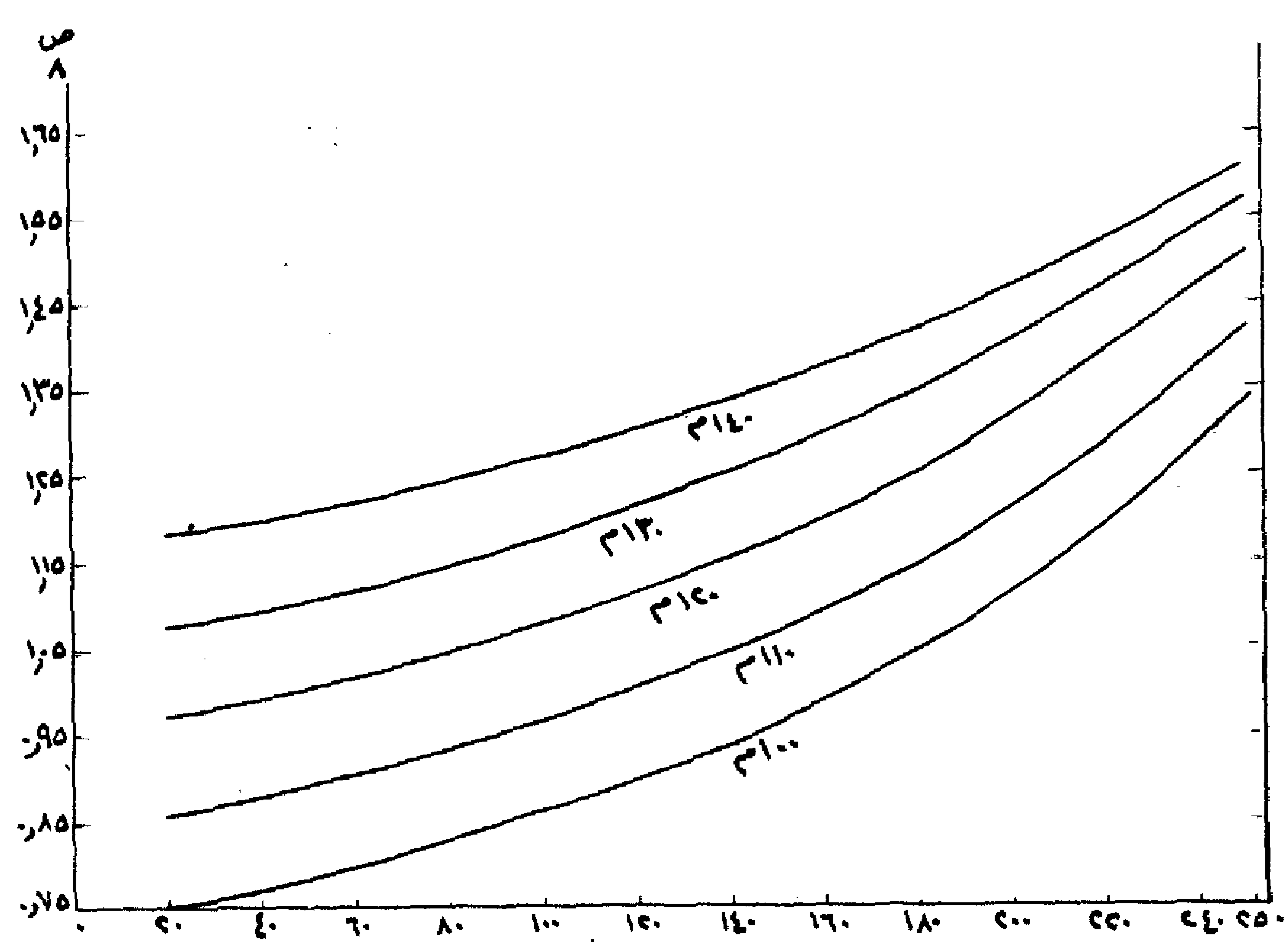
شكل (٣١)
أوتوكلاف (وعاء هاضم) يعمل بالبخار المحمص (درجة حرارته ٢٥٠°م) :
١ - فتحة دخول البخار
٢ - أنبوبة يتم خلالها تفريغ محتويات الأوتوكلاف

ويعامل اللباب بمحلول الصودا الكاوية تحت ضغط ، حتى يسمح باستخدام درجات حرارة فوق نقطة الغليان ، فيذوب أكسيد الألومنيوم الموجود فى البوكسايت مع تفادى انتقال مكونات البوكسايت الأخرى (السيليكات ، وأكاسيد الحديد ، والڤانديوم ، وغيرها) إلى المحلول .

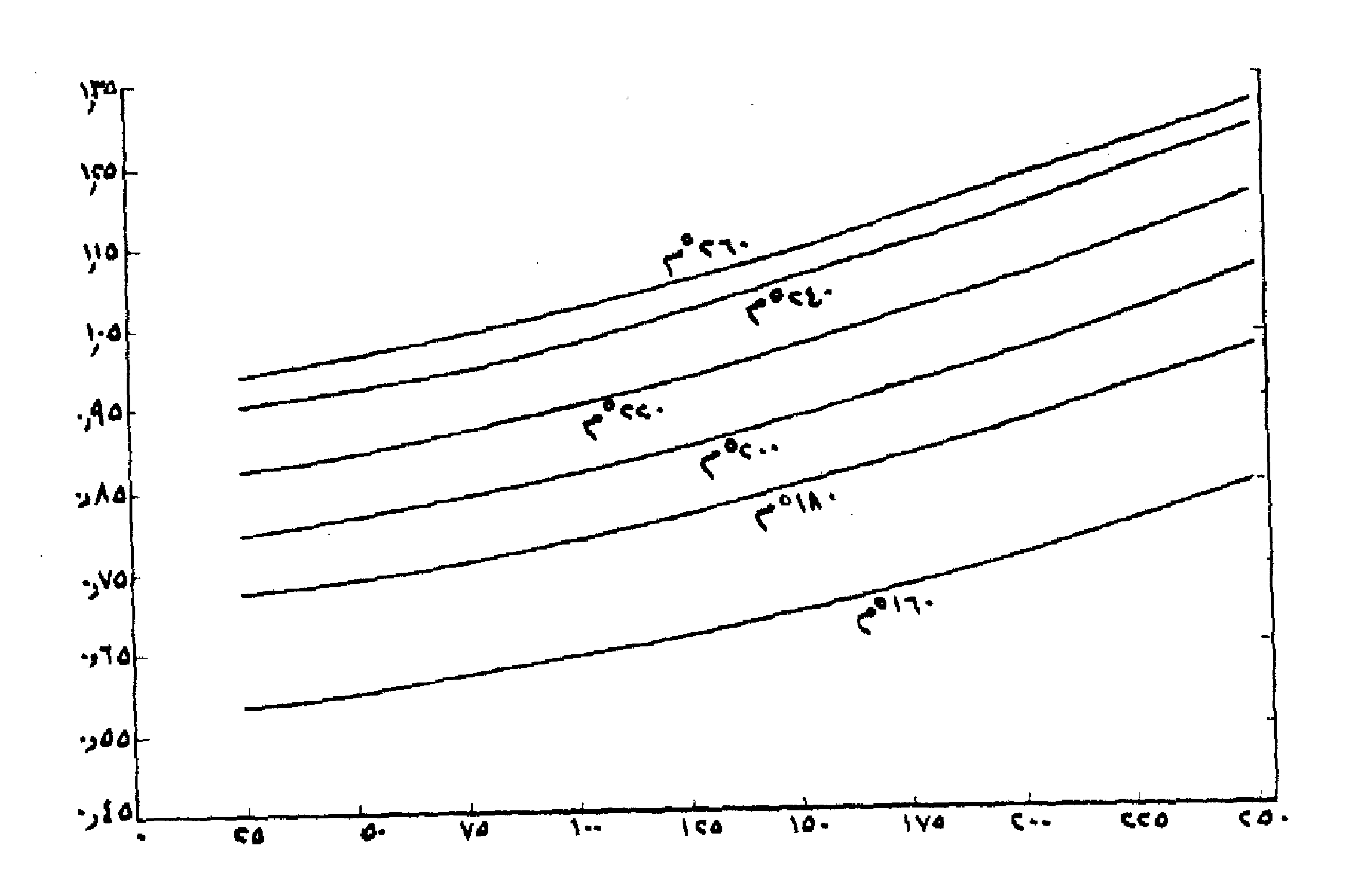
وتوجد الألومينا فى البوكسايت متمثلة على هيئة هيدرات ، كالجيبسايت ، أو الهيدرارجيلايت لو٢ ا٣ ، ٣ يد٢ ا وكالبوهمايت والدياسبور لو٢ أ٣ ، يد٢ ا . وفى التشغيل الاقتصادى ، يجرى عادة استخلاص الألومينا أحادية الهيدرات عند درجات حرارة أعلى من ١٦٠°م ، وباستخدام محاليل مركزة نسبيا تصل إلى ٣٢٠ جرام/لتر وفوق أكسيد الصوديوم . وذائبية الألومينا ثلاثية الهيدرات عالية . ولذلك يمكن استخلاص الألومينا منها عند درجة حرارة أقل ، وقد تصل إلى ١٥٠°م ، وبواسطة محاليل أقل تركيزا .

ومما هو جدير بالذكر ، أنه عند درجات حرارة أعلى من ١٤٠°م ، وبمعدل يتزايد بارتفاع درجة الحرارة ، وازدياد قوة تركيز الصودا ، تتحول الألومينا ثلاثية الهيدرات ، إلى ألومينا أحادية الهيدرات .

ويبين الشكلان (٣٢ ، ٣٣) الذائبية العظمى للألومينات فى صورتها : ثلاثية الهيدرات ، وأحادية الهيدرات على الترتيب ، فى صورة منحنيات لنسبة الاتزان : (وزن لو٢ ا٣ / وزن ص ٢ أ المفردة أو الكاوية) .



شكل (٣٢) نسب الإتزان للالومينا ثلاثية الهيدرات تشمل درجات الحرارة من ١٠٠ حتى ١٤٠ °م :
المحور س : تركيز الصودا غير المتحدة (جرام/ ١ ص٢ ا)
المحور ص : نسبة الإتزان ، وزن لو٢ ا٣ / وزن ص٢ ا



شكل (٣٢) نسب الإتزان للألومنيا أحادية الهيدرات تشمل درجات الحرارة من ١٦٠ حتى ٢٩٠ °م :
المحور س : تركيز الصودا غير المتحدة (جرام / ١ ص٢ أ)
المحور ص : نسبة الاتزان ، وزن لو٢ أ٣ / وزن ص٢ أ

ولا يتأثر الاتزان بقدر ملموس بوجود كربونات الصوديوم ، وكلوريد الصوديوم ، أو مواد عضوية . ويتفاعل أكسيد الألومنيوم (فى صورتيه المتميئتين الأحادية والثلاثية) كما يلى :

لو٢ أ٣ ، يد٢ أ + ٢ ص أيد = ص٢ أ . لو٢ أ٣ + ٢ يد٢ أ

لو٢ أ٣ ، ٣ يد٢ أ + ٢ ص أيد = ص٢ أ . لو٢ أ٣ + ٤ يد٢ أ

وتتكون الصودا الكاوية نتيجة تفاعل الجير الحى (كا أ) مع كربونات الصوديوم (ص ٢ ك أ ٣) فى وجود الماء كما يلى :

ص٢ ك أ٣ + كا أ + يد٢ أ = ٢ ص أيد + كا ك أ٣

ونتيجة لذلك تترسب كربونات الكلسيوم (كا ك أ٣) لعدم قابليتها للذوبان فى الماء ، وتتبقى الصودا الكاوية فى المحلول لتحافظ على قوة المحلول الكاوى .

وفى الأوتوكلاف ، يتفاعل هيدروكسيد الصوديوم عند درجات الحرارة المرتفعة مع

أكسيد الألومنيوم المتميء ، لو (أ يد)٣ فى البوكسايت ، مكونا ألومينات الصوديوم (ص لو أ٢) التى تتبقى فى المحلول . ولا تتأثر أكاسيد الحديد والسيليكون والتيتانيوم وغيرها من الشوائب الأخرى ، باستثناء بعض السيليكات ، بهذا المحلول الكاوى . وتضفى أكاسيد الحديد لونا أحمر على الرواسب المتبقية فى المحلول ، وعندئذ تعرف هذه الرواسب بالطينة الحمراء .

أما السيليكا الموجودة فى البوكسايت ، فتتفاعل جزئيا مع الصودا الكاوية ، ثم تتحول إلى محلول على هيئة سيليكات الصوديوم حسب التفاعل الآتى :

س أ٢ + ٢ ص أ يد = ص٢ أ . س أ٢ + يد٢ أ

وبتفاعل سيليكات الصوديوم المتكونة مع محلول ألومينات الصوديوم ، يتكون مركب معقد من سيليكات الألومنيوم والصوديوم المزدوجة التى لا تقبل الذوبان فى الماء ، تبعا للتفاعل الآتى :

ص٢أ. لو٢أ٣+٢ (ص٢أ. س أ٢)+٤ يد٢أ= ص٢ أ، لو٢ أ٣ ، ٢ س أ٢، ٢يد٢ أ +٤ ص أ يد

ويؤدى هذا التفاعل إلى تخلص المحلول من السيليكا ، وهى من الشوائب غير المرغوب فيها بالمرة ، إلا أن ذلك يقترن ، لسوء الحظ ، بفقدان كمية محددة من الصودا الكاوية ومن أكسيد الصوديوم الذائب (كما يتضح من الصيغة الكيميائية للمركب فى المعادلة السابقة) . ولهذا السبب لا تعتبر طريقة باير اقتصادية عند معالجة خامات البوكسايت التى تحتوى على نسبة محسوسة من السيليكا .

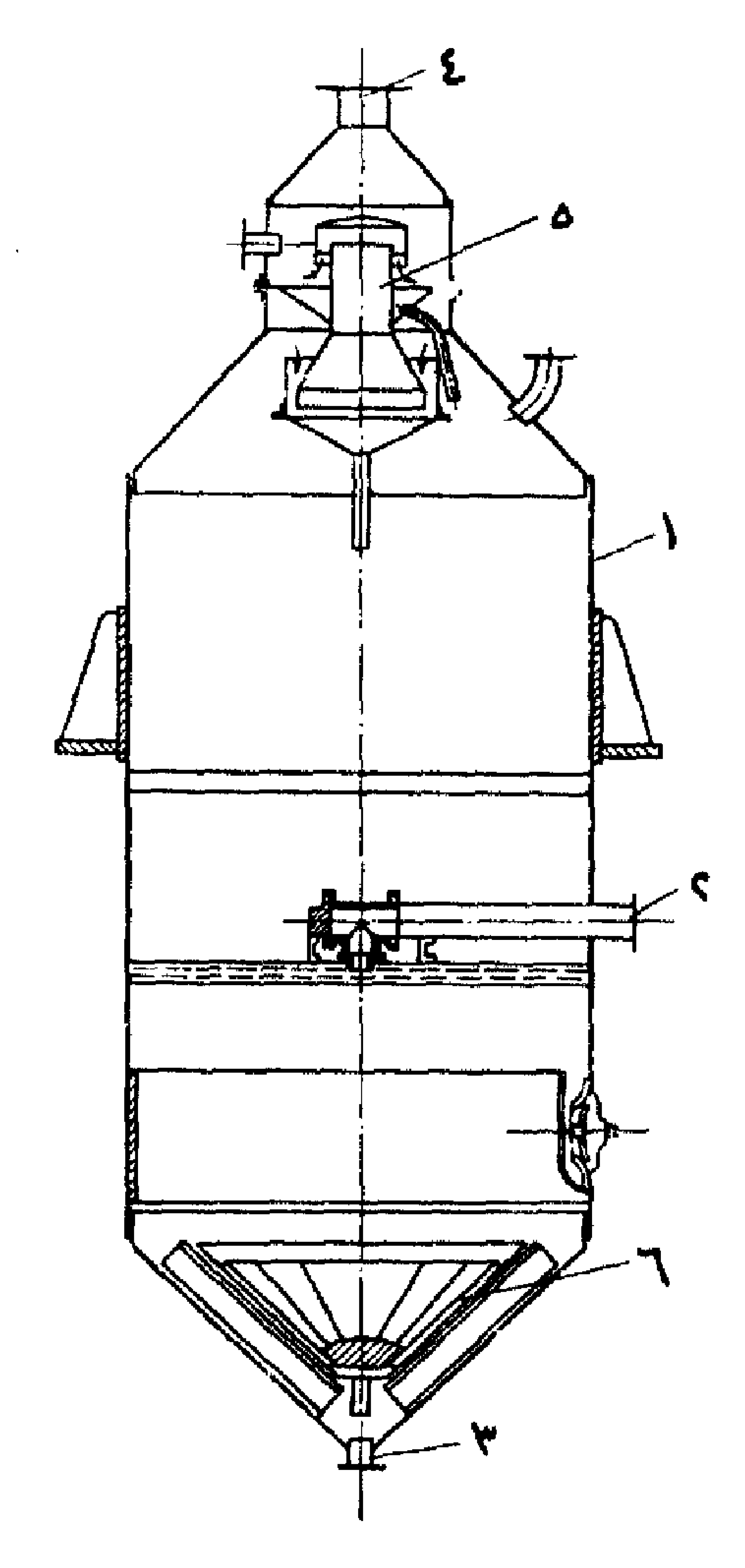
وفى العادة ، لا تشترك أكاسيد التيتانيوم التى قد تصل نسبتها فى الخام إلى ٢٪ فى أية تفاعلات ، وترسب مشتركة فى تكوين الطينة الحمراء .

أما خامس أكسيد الفاناديوم (فا٢أ٥) ، وأكسيد الكروم (كر٢ أ٣) . وثالث أكسيد الجاليوم (جا٢ أ٣) التى توجد بنسب ضئيلة فى خامات البوكسايت ، فتذوب فى المحلول ، وتترسب بعد ذلك مع الألومينا كشوائب تحط من قيمتها .

بالإضافة إلى ذلك ، فقد تحتوى خامات البوكسايت على بعض مركبات الكبريت ، وفى أثناء التفاعلات السابقة ، تتحد هذه المركبات الكبريتية مع نسبة معينة من المحلول الكاوى ، مما ينتج عنه تعقيد فى سلاسة العمليات الميتالورجية اللاحقة .

وبعد إتمام عملية الهضم الكيميائى بالتفاعلات السابقة ، يخفض الضغط الذى قد يصل إلى ٤٠ ضغط جوى ، إلى ١,٥ ضغط جوى ، فى حين ينتقل اللباب من الأوتوكلاف إلى وعاء آخر يسمى فاصل البخار ، الشكل (٣٤) . ونتيجة للانخفاض الحاد فى الضغط ، يغلى اللباب بشدة مع تصعيد كميات كبيرة من المحلول تندفع على هيئة نافورة عظيمة ، كما تهبط درجة الحرارة سريعا . ويستفاد من البخار المتصاعد من فاصل البخار فى مختلف العمليات الإنتاجية ، كرفع درجة

حرارة اللباب فى المسخنات ، وتسخين الماء اللازم لغسل الطينة الحمراء . وتتوقف العوامل المتغيرة المختلفة فى عملية هضم البوكسايت ، مثل فترة دوام الهضم ، ودرجة الحرارة ، ونسبة الصنف إلى الصلب إلى الصنف السائل ، ودرجة نعومة حبيبات البوكسايت ، إلخ .



شكل (٣٤) رسم توضيحى لفاصل البخار
١ – هيكل الجهاز ٢ – أنبوبة دخول اللباب
٣ – تفريغ اللباب ٤ – فتحة تصريف البخار
٥ – وعاء تجميع قطرات المحلول
٦ – عارضة

وتؤثر الصورة المعدنية للبوكسايت تأثيرا بالغا على سرعة ذوبان البوكسايت فى القلويات . وتتراوح درجة النعومة اللازمة لهضم البوكسايت من ٠٫٨٣ إلى ٠٫٠٦م .

ويدفع المحلول ، الذى يحمل الطينة الحمراء كمعلق فيه ، خلال مواسير تضخ المحلول الذى يحتوى على الألومينا المستخلصة على هيئة ألومينات الصوديوم ، إلى صهاريج ترسيب تعرف بالمرسبات ، حيث يتم فصل الطينة كنفايات بعد غسلها مرات عديدة لاسترجاع ما تحمله من ألومينات الصوديوم . ويوجه السائل إلى مرشحات ورقية ، أو مرشحات تعمل بالضغط (انظر العمليات الميتالورچية الفيزيقية) ، حيث ينفذ المحلول كرشيح رائق ، وتتخلف الطينة الحمراء

على القماش . ثم يوجه الرشيح الرائق إلى العملية التالية ، وهى عملية الترسيب أو التحلل ، وتجرى هذه العملية فى صهاريج مناسبة ، وتضاف إلى المحلول بعض البلورات الدقيقة من هيدروكسيد الألومنيوم ، التى تم الحصول عليها من عمليات سابقة ، وتدور هذه البلورات دائريا خلال المحاليل حيث تستخدم فى كل عملية كنوى تنمو عليها بلورات هيدروكسيد الألومنيوم ، إذ أنه من الأسهل نمو البلورات على نوى عن تكوينها أساسا . وبتبريد المحلول فى الصهاريج ، ينعكس اتجاه التفاعل السابق الذى يحدث عند درجات حرارة عالية فى الأوتوكلاف :

ص$_{٢}$أ . لو$_{٢}$أ$_{٣}$ + ٤ يد$_{٢}$أ = ص أيد + لو$_{٢}$أ$_{٣}$ ، ٣ يد$_{٢}$أ

وبهذا تتحلل ألومينات الصوديوم ، وينتج هيدروكسيد الألومنيوم ومحلول عكر .

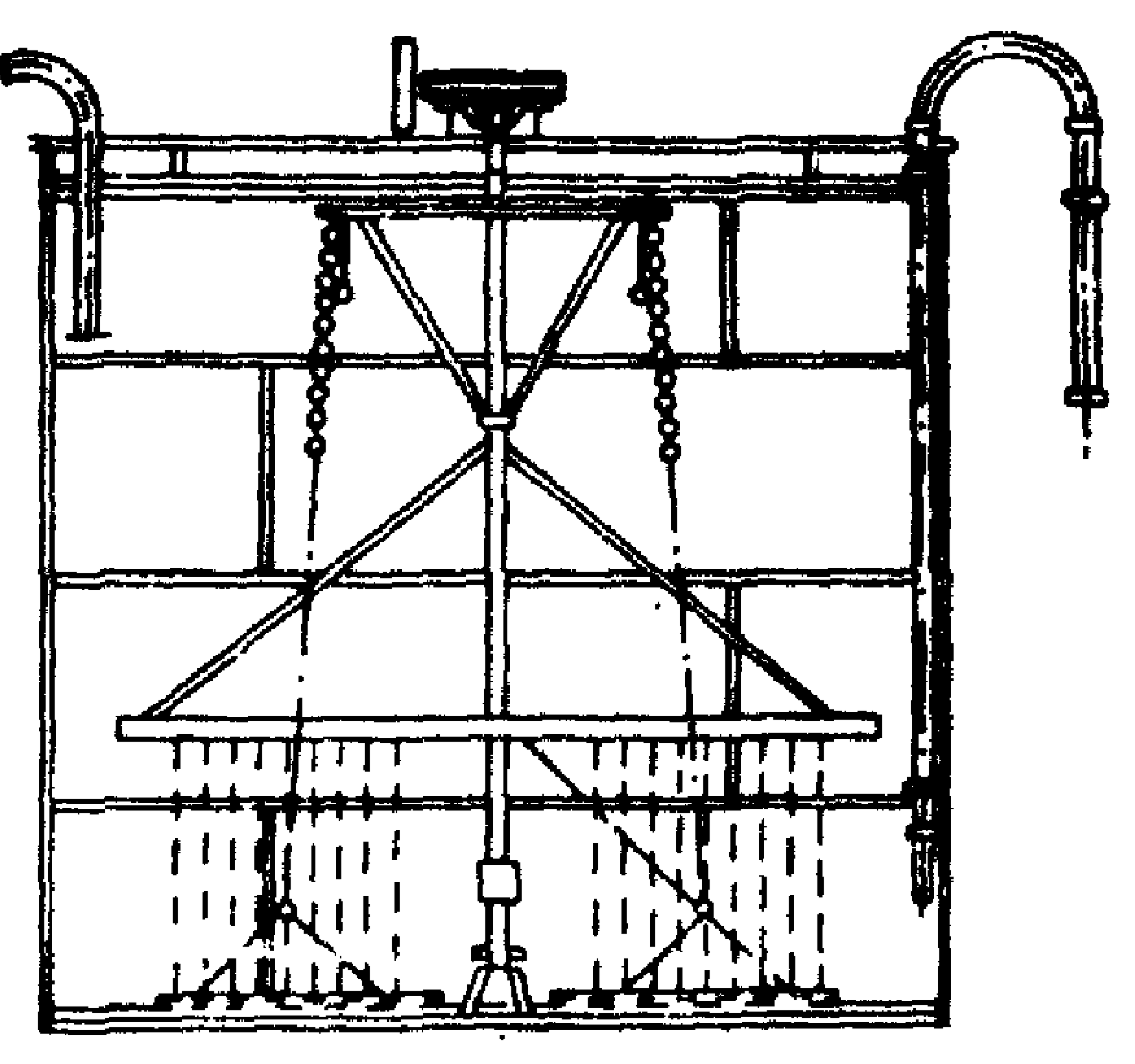
وتعتمد فكرة ترسيب هيدروكسيد الألومنيوم أساسا على خواص تتميز بها أملاح الألومينات . فألومينات الفلزات القلوية ، كالصوديوم والپوتاسيوم والكالسيوم ، أملاح تتكون نتيجة تفاعل حمض ضعيف هو حمض الميتا ألومينيك (يد لو أ$_{٢}$) ، مع قاعدة قوية (هيدروكسيد فلزات الأقلاء : الصوديوم وغيره) .

ومن الصفات المميزة لهذه الأملاح ، تحللها فى وجود الماء إلى شقيها . ولما كان هذا التفاعل عكسى ، أى قابل لعكس اتجاهه ، لذلك فإن ألومينات الصوديوم غير المتحللة والصودا الكاوية وهيدروكسيد الصوديوم ، تكون موجودة جميعا فى المحول آنيا (أى فى نفس الوقت) . وفى البداية يكون هيدروكسيد الألومنيوم ذائبا فى المحلول فى أغلب الأحوال ، ولكن سرعان ما يبدأ فى الانفصال عن المحلول على هيئة راسب بلورى .

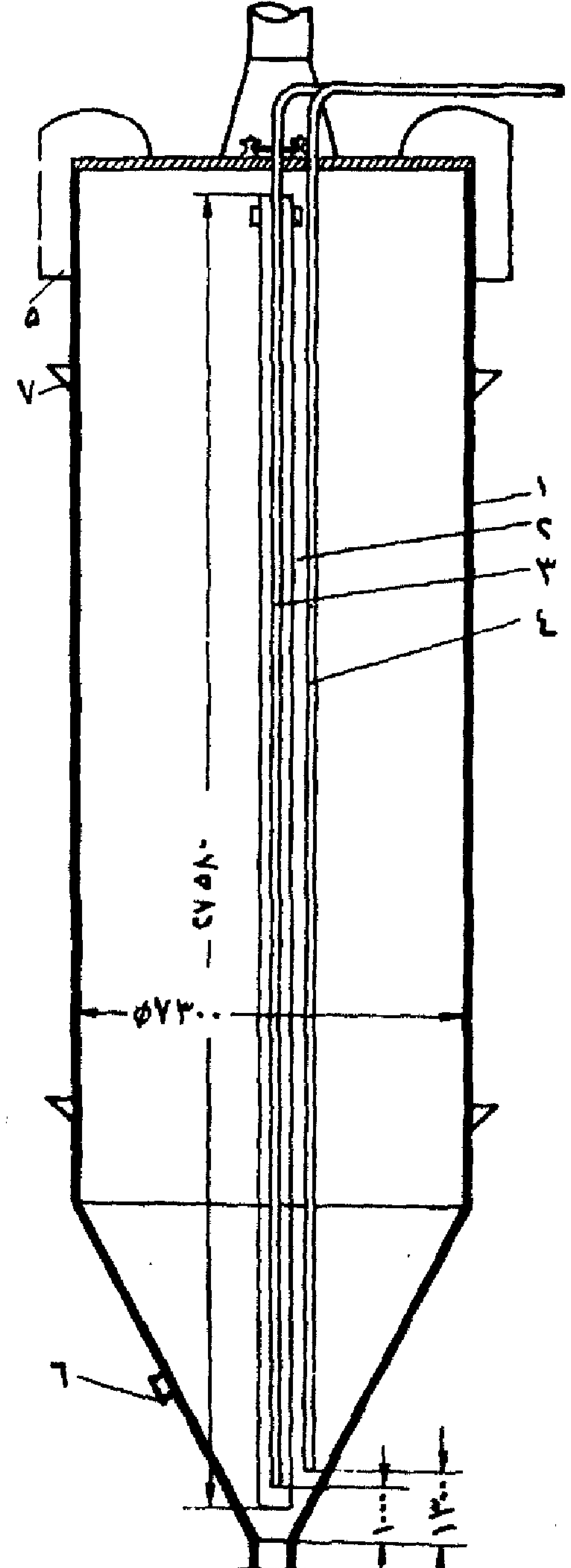
ومن الممكن إيقاف تحلل الألومينات بالماء ، إذا زاد مقدار النسبة الكاوية لهذا المحلول ، بل يمكن أن يتجه التفاعل إلى اليمين ليكون ألومينات الصوديوم ، إذا ما أصبحت النسبة الكاوية عالية جدا . وهذا ما يحدث بالفعل فى الأوعية الهاضمة والأوتوكلافات ، ولكن تحت درجة حرارة مرتفعة .

ويمكن تقليب اللباب بقلاب ذى سلسلة ، أو بواسطة الهواء المضغوط ، حتى يتساوى تركيز المحلول فى سائر اللباب ، ولمنع نوى التبلور من الترسيب . ويبين الشكلان (٣٥) ، (٣٦) رسمين تخطيطيين للأجهزة التى تجرى فيها عملية الترسيب .

وبعد التحليل يجرى غسل هيدروكسيد الألومنيوم الذى تم ترسيبه فى المرسبات لتخليصه من الصودا ، ثم يكلس فى قينة دوارة (مجفف) تحت درجة حرارة تصل إلى ٩٨٠°م للتخلص نهائيا من الماء ، ولتحويل الألومينا إلى صورة بلورية حتى لا تترطب من الهواء الجوى ثانية وتعود مرة أخرى إلى صورة الهيدروكسيد .



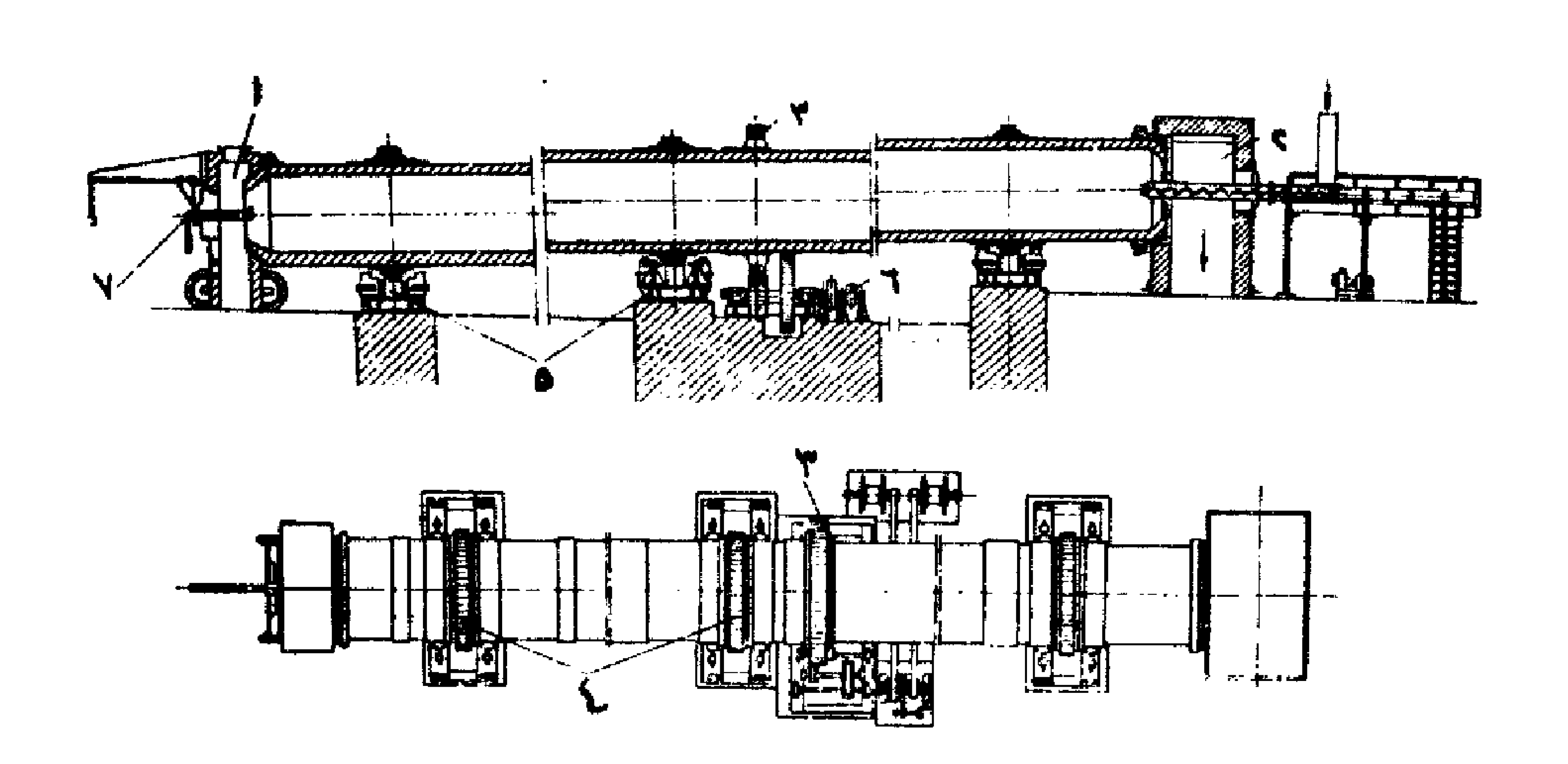
شكل (٣٥)
جهاز تقليب اللباب بطريقة ميكانيكية وتجرى فيه عملية ترسيب هيدروكسيد الألومنيوم



شكل (٣٦) ←
جهاز تقليب اللباب بواسطة الهواء المضغوط وتجرى فيه عملية ترسيب هيدروكسيد الألومنيوم

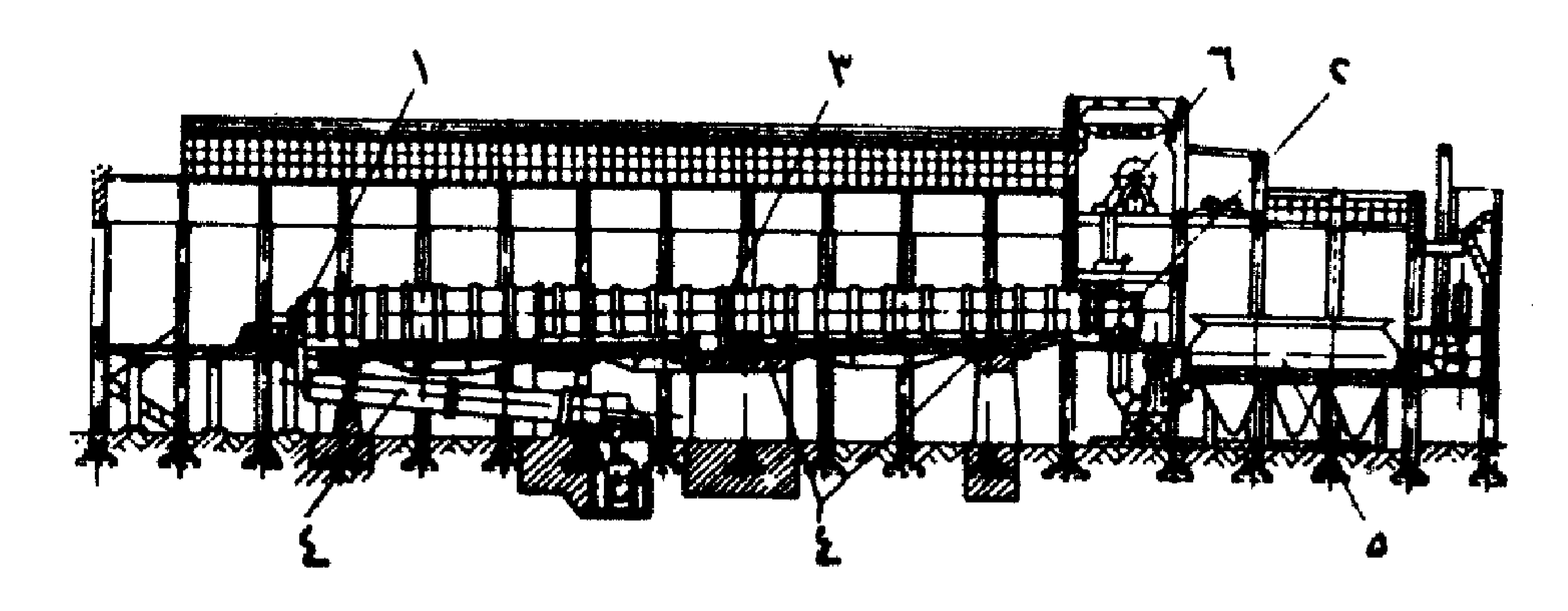
١ – هيكل الجهاز
٢ – ماسورة الهواء
٣ – أنبوبة الهواء الرئيسية
٤ – أنبوبة الهواء الجانبية
٥ – جيب التبريد بالهواء
٦ – فتحة تستخدم للمراقبة بالنظر خلالها
٧ – حلقة التبريد بالهواء

ويبين الشكلان (٣٧) ، (٣٨) الفرن الأنبوبى الدوار (المجفف) وملحقاته . وهذا الفرن يستخدم كثيرا فى أغراض تكليس الألومينا .



شكل (٣٧) فرن أنبوبى دوار

١ — غطاء الحريق
٢ — فتحة الشحن
٣ — ترس طوق
٤ — إطارات الارتكاز
٥ — اسطوانات دحروجية للارتكاز
٦ — صندوق تروس تخفيض السرعة
٧ — المشعل



شكل (٣٨) ملحقات الفرن الأنبوبى الدوار الذى يستخدم لتكليس الألومينا

١ — غطاء فتحة الحريق
٢ — فتحة الشحن الثابتة
٣ — هيكل الفرن الدوار
٤ — مبرد دوار
٥ — غرف تجميع الأتربة
٦ — مرشح اسطوانى بالتفريغ

ولما كانت المياه التى تستخدم لغسل هيدروكسيد الألومنيوم تضاف إلى المحلول لمحافظ على ما يحتويه من صودا كاوية ، فمن الضرورى إضافة بعض الجير والصودا آش مع الشحنات التالية للبوكسايت ، حتى تظل القوة الكاوية فى المحلول ثابتة ، وبالدرجة المطلوبة .

وتنفصل كربونات الكلسيوم (عمليا عديمة الذوبان فى الماء) التى تتكون بالترشيح وتستبعد مع الطينة الحمراء . وكما ذكر آنفا ، تتفاعل بعض السيليكا – الموجودة فى البوكسايت كشائبة – مع الصودا الكاوية لتكوين مركب معقد منسيليكات الصوديوم والألومنيوم التى لاتذوب فى الماء . فإنه لكل كيلو جرام من السيليكا فى مركب السيليكات الموجودة بالبوكسايت ، يفقد كيلوجرام من الألومينا ، وكيلوجرام من الصودا الكاوية فى الطينة الحمراء .

لذلك فإن طريقة « باير » عند تطبيقها صناعيا لمعالجة خامات بوكسايت رديئة الجودة ، تكون غير اقتصادية بالمرة .

إنتاج الألومينا بطريقة التلبيد :

لما كانت موارد خامات البوكسايت عالية الجودة شحيحة ، فقد أجريت أبحاث مستفيضة تستهدف التوصل إلى إمكانية التعامل مع خامات البوكسايت التى تحتوى على نسبة عالية من السيليكا – وهى متوافرة بكثرة فى الطبيعة . وقد أمكن التوصل إلى طريقة هى فى الواقع توليفة تقرن طريقة «باير» بأسلوب جديد ، للعمل على استخلاص الألومينا بطريقة اقتصادية .

وتشمل هذه الطريقة الجديدة ، معالجة خام البوكسايت الذى يحتوى على نسبة عالية من السيليكا بتطبيق طريقة «باير» ، ثم الحصول على الطينة الحمراء ومعالجتها هى الأخرى لاسترجاع ما بها من صودا وألومينا متحدين مع السيليكات كشوائب فى البوكسايت .

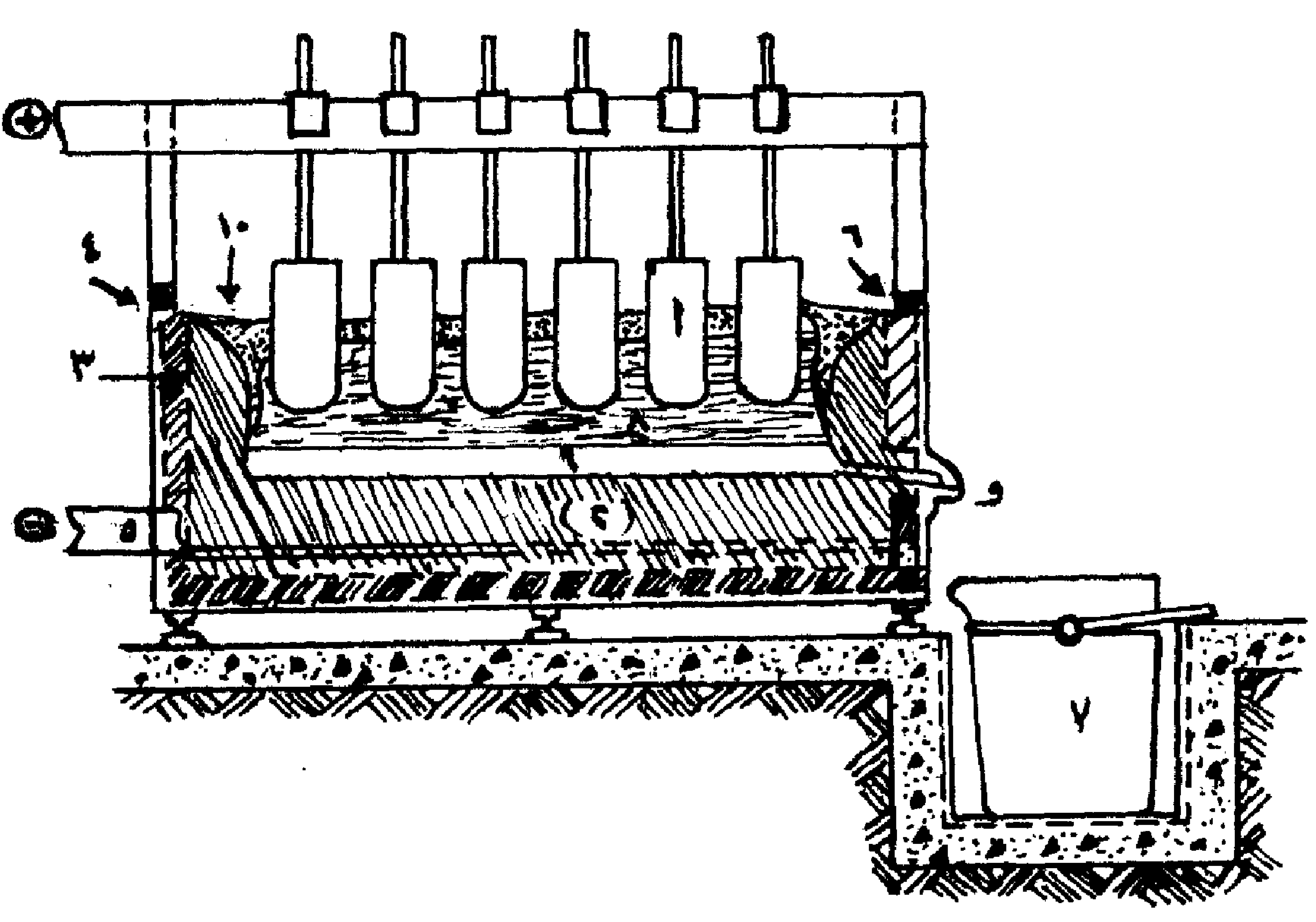
وفى هذه الحالة ، تخلط الطينة الحمراء بالحجر الجيرى (كربونات الكلسيوم) والصودا آش (كربونات الصوديوم) ، ثم تلبيد هما سويا . ويتم ذلك بتسخين العجينة المتكونة إلى درجة حرارة تحدث انصهارا جزئيا فى العجينة . وتحت هذه الظروف ، يتفاعل المركب المعقد الذى يتألف من سيليكات الصوديوم الألومنيومية مع الحجر الجيرى المضاف والصودا آش ، لتكوين سيليكات الكلسيوم وألومينات الصوديوم وثانى أكسيد الكربون (الذى يهرب من حلقة التفاعل فور تكونه) ، وتغسل الكتلة الملبدة بعد ذلك بالماء ، لإذابة ألومينات الصوديوم ، ثم يستبعد ما تبقى بعد ذلك دون أن يذوب فى الماء . وحينئذ يضاف المحلول الناتج إلى المحلول الجارى استخدامه فى طريقة « باير » ثانية ، وتستعاد الصودا والألومينا .

والألومينا التى يحصل عليها بهذه الطريقة تكون نقية للغاية ، وتحتوى على أجزاء من المائة من الحديد والسيليكون ، اللذين تخلفا عن الترسيب فى الطينة الحمراء ، خلال عيوب أو فتحات فى قاش الترشيح . كما تحتوى على نسبة ضئيلة من الصودا . ومن الأفضل اقتصاديا ، تصحيح التركيب الكيميائى للمحلول ، بإضافة بعض فلوريد الألومنيوم ليعادل الصودا المضافة مع الألومينا ، عند غسل الآثار الأخيرة من الصودا فى هيدروكسيد الألومنيوم أثناء عملية التنقية .

٥ – إستخلاص الألومنيــوم

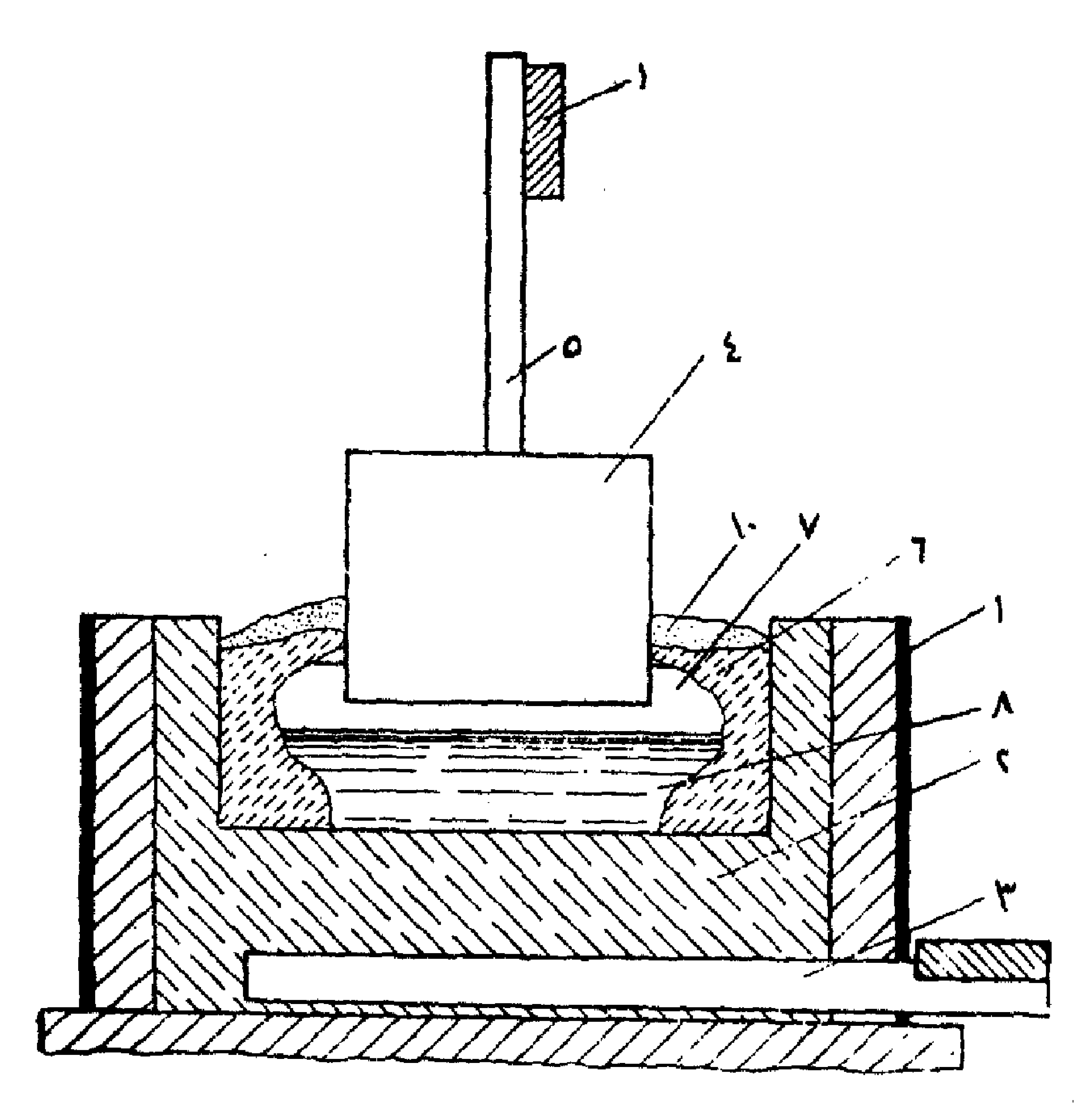
جرت محاولات عديدة للحصول على فلز الألومنيوم باختزاله من أكسيده (الألومينا) ، باستخدام عوامل اختزال مختلفة ، ولكن هذه المحاولات باءت بالفشل . فمثلا يتحد الألومنيوم بالكربون – عند استخدامه كعامل اختزال – مكونا كربيد الألومنيوم لونه . كما أخفقت محاولات الحصول عليه بالتحليل الكهربائى لمحلول أحد أملاحه فى المـاء ، إذ كانت النتيجة هى تحلل المـاء فقط ، والحصول على شقيه الأكسيجين والهيدروجين .

والطريقة الوحيدة التى يمكن استخدامها (على الأقل حتى الآن) لحصول على الألومنيوم ، هى التحليل الكهربائى لمصهور الألومينا ، ويستخدم الكريولايت معها كمحلول الكتروليتى لخفض درجة حرارة الانصهار . ويجرى ذلك فى خلايا كهربائية . ويوضح الشكل (٣٩) قطاعا طوليا فى خلية كهربائية تستخدم فى التحليل الكهربائى للألومينا . كما يوضح الشكل (٤٠) مقطعا مستعرضا فى الخلية .



شكل (٣٩) قطاع طولى فى خلية كهربائية تستخدم لاستخلاص الألومنيوم ، خلال تحليل كهربائى للألومينا :

١ – أنودات كربونية　　٢ – بطانة كربونية　　٣ – مادة عازلة حراريا
٤ – مادة عازلة كهربائيا　　٥ – لوحة توصيل كهربائى　　٦ – فتحة الصب
٧ – بودقة　　٨ – إلكتروليت منصهر　　٩ – ألومنيوم منصهر　　١٠ – قشرة متجمدة



شكل (٤٠) قطاع مستعرض فى خلية تحليل الألومينا بالكهرباء للحصول على الألومنيوم :

١ – هيكل الخلية المصنوع من الفولاذ
٢ – بطانة الخلية ، وهى من كتل كربونية
٣ – قضبان فولاذية لمرور التيار الكهربائى المستمر
٤ – أنودات كهربائية
٥ – قضيب معدنى لتوصيل التيار الكهربائى
٦ – أحد القضبان العمومية
٧ – إلكتروليت منصهر
٨ – ألومنيوم منصهر
٩ – طبقة متجمدة من الإلكتروليت
١٠ – ألومينا ، توضع بهدف تسخينها

وعادة تتولد الطاقة الكهربائية اللازمة من محطة كهرومائية ، يقام مصنع الألومنيوم قريبا منها ، وحتى يقل الفاقد من الطاقة الكهربائية إلى أقل ما يمكن خلال انتقالها ، ترفع فلطية التيار المتردد المار خلال محلول كهربائى مناسب حتى تصبح ١٠٠,٠٠٠ – ٢٠٠,٠٠٠ فلط ، ثم يجرى خفض قيمته الفلطية مرة أخرى خلال محولات كهربائية موجودة بمصنع استخلاص الألومنيوم إلى ٥٠٠–٨٠٠ فلط ، وفى الوقت نفسه يحول التيار الكهربائى المتردد إلى تيار مستمر ، وتستخدم فى ذلك عادة مقومات قوسية زئبقية .

وينخفض الجهد خلال المحلول الالكتروليتى فى الخلية إلى حوالى ٥ فلط ، حيث يخدم المقوم الواحد حوالى ١٠٠–١٦٠ خلية توصل معاً على التوالى .

وإذا استخدم وقود غازى مصدرا للقدرة ، فإنه يمكن توليد تيار كهربائى تبلغ فلطيته ٧٠٠ (فلط) عن طريق مولد كهربائى متصل بالمحرك الذى يشغل بالغاز .

وإذا تم توليد الكهرباء بالقدرة البخارية ، فيتم نفس الشئ كما فى المحطة الكهرومائية ، باستثناء واحد ، وهو أن محطة توليد الطاقة ومصنع الألومنيوم ، يجب أن يقعا قريبين من بعضهما بعضا تماما ، لدرجة أنه يتحتم رفع فلطية المولد الكهربائى بواسطة محولات كهربائية لتقليل الفقد فى الطاقة خلال خطوط نقل القدرة .

وتتألف الخلية الإلكتروليتية (كما هو موضح فىالمقطعين السابقين) من هيكل يصنع من الصلب ، يقام على أساس ثابت ، ويبطن بكتل وألواح كربونية . وفى العادة يصل عمق الخلية إلى حوالى نصف المتر ، ويوصل قاع الخلية بالتيار الكهربائى المستمر الذى يمر فى قضبان فولاذية ، وتكمل الدائرة الكهربائية بتعليق كتل كربونية تقوم بدور الأنود ، وتوصل بالتيار الكهربائى خلال قضبان معدنية تربطها بعضها ببعض مجموعة من القضبان العمومية .

ولبدء التشغيل ، تخفض الأنودات حتى تستقر تماما على قاع (أرضية) الخلية ، وعندئذ يشحن الكريولايت فى الخلية ، ثم يوصل التيار الكهربائى .

وتعمل الحرارة التى تتولد عن المقاومة بين الأنود وأرضية الخلية (الكاثود) ، على رفع درجة حرارة الكريولايت إلى ما فوق درجة حرارة انصهاره (٩٨٢°م) . وبعد انصهار الكريولايت ، تضاف الألومينا التى تتذاوب فى مصهر الكريولايت ، ثم ترفع الأنودات بحيث تسمح بمرور التيار الكهربائى خلال محلول الإلكتروليت المنصهر . وتكفى الحرارة المتولدة نتيجة مرور التيار الكهربائى للحفاظ على الإلكتروليت منصهرا فيما عدا قشرته السطحية ، فإنها تكون صلدة ، وهى تستغل للاحتفاظ فوقها بكمية كافية من الألومينا ، يجرى تسخينها ذاتيا ، فلا تضيع درجة حرارة الإلكتروليت هباء بطرق الإشعاع والحمل وخلافه .

وعند سطح الأنود الكهربائى ، يتولد غاز الأكسيجين ، نتيجة مرور التيار الكهربائى . وإذا كانت درجة الحرارة عالية ، فإن الأكسيجين يتحد مع الكربون فى الأنود مكونا غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يتصاعد فى الجو (مع بعض من غاز أول أكسيد الكربون) .

وعند الكاثود ، يتحرر الألومنيوم الفلزى ، حيث يتجمع فى قاع الخلية الكهربائية لثقل وزنه بالنسبة للإلكتروليت المنصهر .

وبصفة تقريبية ، يستهلك ثلثا كيلوجرام من كربون الإلكترود لكل كيلوجرام من الألومنيوم يتم إنتاجه . ويذوب الرماد الموجود فى المادة الكربونية للإلكترود فى الإلكتروليت ، حيث تختزل مكوناتها العنصرية بواسطة التيار الكهربائى ، ومن ثم تترسب مع الألومنيوم المنصهر وتتحد به كشوائب . ولما كان الفحم البترولى وفحم القار يحتويان على نسبة منخفضة من الرماد ، لذلك تتحد عند استخدامهما كميات قليلة من الشوائب مع الألومنيوم المنصهر .

ونظرا للاستهلاك الضخم فى المواد الكربونية التى تتكون منها الأنودات وبطانة الخلية ، يلزم اقتصاديا تخصيص وحدة لإنتاج المواد الكربونية اللازمة . ولقد أشرنا إلى ذلك فيما سبق .

وبتجميع الألومنيوم الفلزى المنصهر عند قاع الخلية ، حيث يجرى تجميعه على فترات زمنية منتظمة خلال مثعب (سيفون) فى بودقة ، ويتم خلطه جيدا قبل صبه فى قوالب من الحديد الزهر ، ليتجمد إلى كتل من الألومنيوم .

ويوجد مصباح (لمبة) كهربائى ، فى دائرة تتصل على التوازى بكل خلية ، فكلما كانت هناك ألومينا متذاوبة فى الكريولايت ، فإن فرق الجهد عبر الخلية يظل خمسة فلطات ، وعمليا لا يسرى أى تيار خلال المصباح فلا يتوهج . ولكن عندما تستنفد كل الألومينا ، ترتفع فلطية الجهد ، ويسرى تيار كهربائى خلال المصباح يكون كافيا لتوهجه ، وتكون هذه الإشارة بمثابة إنذار ضوئى للعامل ، ليقوم بإضافة مقدار جديد من الألومينا ، ويتم ذلك بتكسير جزء من قشرة الكريولايت التى تعلو المحلول الالكتروليتى بالخلية وتوجد عليها كمية من الألومينا الساخنة ، فتذوب الألومينا فى المصهور الإلكتروليتى سريعا ، ومن ثم تنخفض الفلطية ثانية ، وينطفئ المصباح مرة أخرى .

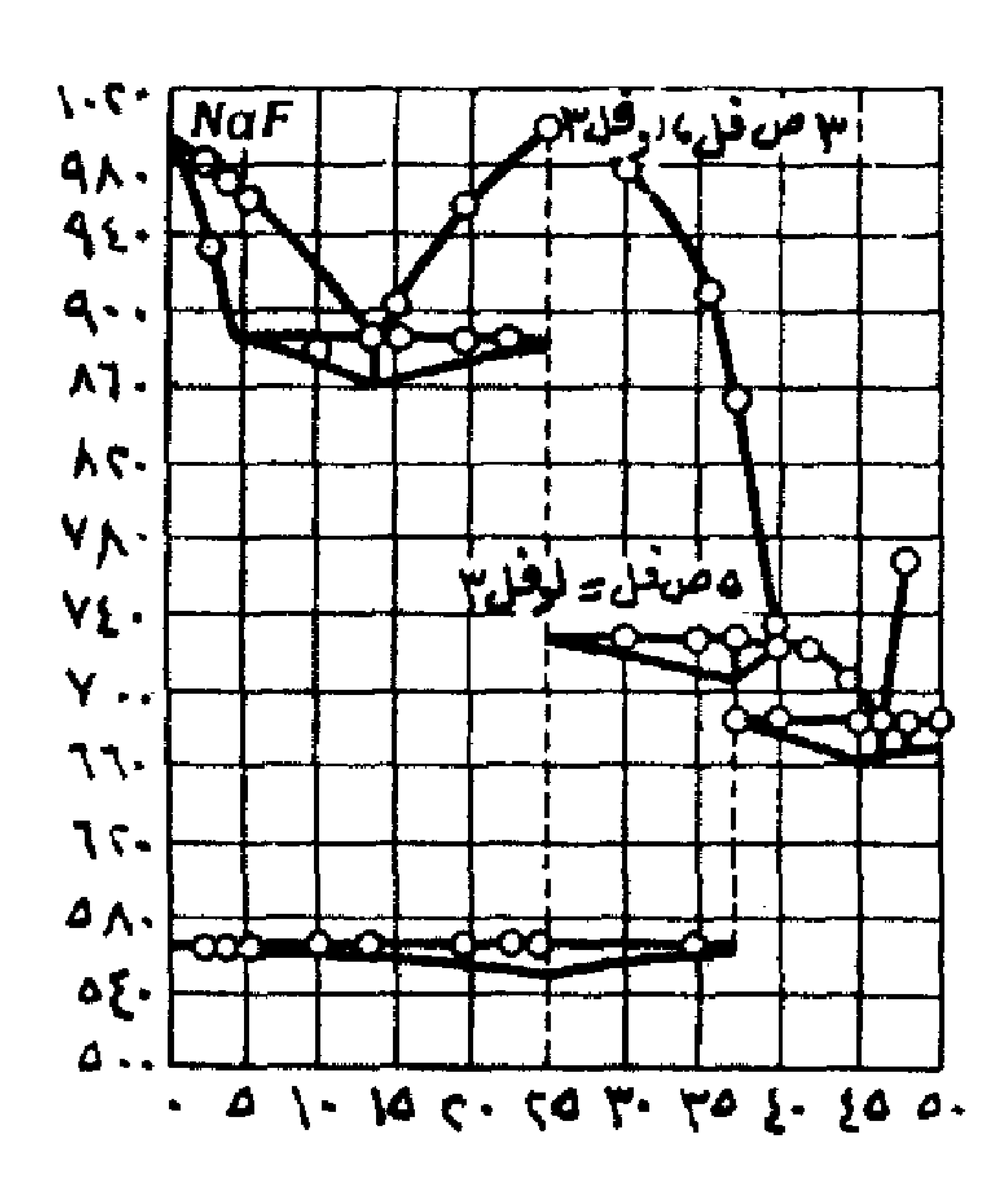
وتستمر العملية تباعا دون توقف ، إلا إذا أصابها عطل مفاجئ ، أو إذا أصاب بطانة الخلية تآكل ووجب تغييرها ، أو فى حالة هبوط القدرة الكهربائية . وفى مثل هذه الحالات يفصل التيار الكهربائى ، وتخفض الأنودات إلى أن تستقر على قاع الخلية حتى يمكن إعادة تشغيلها بسهولة مرة أخرى ، إذا ما تجمد المحلول الإلكتروليتى .

نسبة الكريولايت :

الكريولايت الذى يستخدم كعامل صهار (يساعد على الصهر) ، مرتفع الثمن ، وينصهر عند درجة حرارة مرتفعة (٩٨٢°م) ، كما أنه يتطاير بسهولة عندما يكون منصهرا ، ولهذا فقد أجريت محاولات عديدة ترمى إلى الاستعاضة عن الكريولايت بأية مادة أخرى تقوم بهذا الدور عند تحليل الألومينا بالكهرباء ، إلا أن كل هذه المحاولات لم تنجح حتى الآن .

ويبين الشكل (٤١) منحنى الاتزان الحرارى لمكونى الكريولايت : فلوريد الألومنيوم (لو فل٣) وفلوريد الصوديوم (ص فل) .

من منحنى الاتزان ، يتضح أن النقطة على خط السيولة التى تمثل التركيب الكيميائى الكريولايت (لو فل٣ ، ٣ ص فل) لها أعلى درجة انصهار ، عندما تكون النسبة الجزيئية لفلوريد الألومنيوم : فلوريد الصوديوم هى ١ : ٣ (أى ٢٥٪ من الجزئ المركب للكريولايت ، الذى يحتوى على جزئ من « لو فل٣ » ، وثلاثة جزيئات من « ص فل » .



شكل (٤١)
منحنى الاتزان الحرارى لمكوف الكريولايت :
المحور س : النسبة الجزيئية لفلوريد الألومنيوم
المحور ص : درجة الحرارة (مئوية)

وتعرف النسبة الجزيئية (ص فل / لو فل٣) فى الإلكتروليت بنسبة الكريولايت ، وبالطبع فهى تساوى ٣ للكريولايت النقى . واصطلح على أن هذه النسبة هى نسبة التعادل ، وإذا انخفضت كانت النسبة حمضية ، وإذا زادت كانت قاعدية (قلوية) .

وعادة يجرى استخدام الإلكتروليت الحمضى ، أى بنسبة تقل عن ٣ ، وتقع عمليا بين ٢,٣ ، ٢,٧ ، لأنه إذا انخفضت النسبة عن ٢,٣ ، أى كانت الحمضية عالية جدا ، تطاير الكريولايت بشدة ، وضعفت قابليته لإذابة الألومينا . وإذا زادت النسبة على ٣ أصبح الإلكتروليت غير صالح للتحليل كهربائيا ، لأن ذلك يؤدى إلى زيادة تركيز أيونات الصوديوم فى المحلول (مصهور الالكتروليت) ، مما يزيد من احتمال ترسيب ذرات الصوديوم على الكاثود .

شكل (٤٢)
منحنى الإتزان الحرارى
للمجموعة ، الألومينا ، والكريولايت :
المحور س : النسبة المئوية لوزن الألومينا
المحور ص : درجة الحرارة (المئوية)

ومن ناحية أخرى ، فإن لتذاوب الألومينا فى الإلكتروليت أهميته . فالمطلوب أن يبلغ تركيز الألومينا أقصاه فى الإلكتروليت ، ولكن ذلك يكون على حساب عوامل أخرى ، منها درجة حرارة انصهار الإلكتروليت . ويبين الشكل (٤٢) منحنى الاتزان الحرارى لمجموعة الألومينا (لو٢ أ٣) – الكريولايت (٣ ص فل ، لو فل٣) . ومنه يتضح أن درجة حرارة الانصهار تنخفض إلى أدنى حد لها عندما تصل نسبة الألومينا فى الكريولايت إلى ١٥٪ وزنا ، حيث تبلغ درجة الانصهار ٩٣٥°م. وبعد تجاوز هذه النسبة ، ترتفع درجة حرارة الانصهار بصورة حادة ، ويكون ذلك على حساب العديد من العوامل الاقتصادية ، منها استهلاك الطاقة الكهربائية ، واستهلاك الحراريات المبطنة للخلية ، واستهلاك الأنودات ، وغير ذلك . وعمليا يمكن خفض درجة حرارة الانصهار بإضافة بعض الفلوريدات (أملاح الفلور) مثل فلوريد الكلسيوم كا فل٢ ولكن ذلك يؤدى إلى زيادة المقاومة الكهربائية للإلكتروليت قليلا ، كما يؤدى إلى ابطاء ذوبان الألومينا فى الكريولايت المنصهر . ولكن إضافة فلوريد المغنسيوم ما فل٢ بدلا من فلوريد الكلسيوم ، يؤدى إلى تحسين عملية التحليل الكهربائى للمحلول المنصهر . كما يقلل من الوزن النوعى للإلكتروليت وهو أمر مستحب ، حتى ينفصل الألومنيوم المنصهر بصورة أفضل.

وتصل المقاومة النوعية للإلكتروليت النقى عند درجة حرارة ١٠٠٠°م إلى ٠,٣٧ أوم.سم ولكن المقاومة النوعية للإلكتروليت ، تكون عمليا أعلى من هذا الرقم لاحتواء الإلكتروليت على بعض الشوائب مثل الكربون والكربيدات وغيرهما ، حيث تبلغ ٠,٥ – ٠,٥٥ أوم. سم .

ديناميكية التحليل الكهربائى لمصهور الألومينا :

لم يتم التوصل بعد بصورة قاطعة إلى ما يحدث خلال عملية التحليل الكهربائى لمصهور الألومينا ، ولكن عددا كبيرا من العلماء يرجح أن التيار الكهربائى يتدفق عبر مصهور الإلكتروليت لوجود أيونات موجبة من الصوديوم وأيونات سالبة مركبة من فلوريد الألومنيوم ، نتجت عن تفكك الكريولايت كما فى المعادلة التالية :

ص٣ لو فل٦ ⟵ ٣ ص⁺ + لو فل٦ ---

(لو فل٦ --- أيون مركب من الألومنيوم والفلور ، ويمكن تسميته أيون الألوموفريك)

وتتفكك الألومينا فى المحلول المنصهر إلى أيونات الألومنيوم ، وأيونات مركبة من الألومنيوم والأكسيجين طبقا للمعادلة التالية :

لو٢ أ٣ ⇌ لو +++ + لو أ٣ ---

(لو أ٣ --- : أيون مركب يمكن تسميته أيون الأكسى ألومونيك)

هذا بالإضافة إلى احتمال وجود أيون الأكسيجين أ$^{--}$ وأيون الفلور أيضا فل$^{-}$ ، وعليه ، لابد فى النهاية ، أن يحتوى المحلول المنصهر على الأيونات التالية :

لو$^{+++}$ ، ص$^{+}$ ، فل$^{-}$ ، أ$^{--}$ ، وتسبح هذه الأيونات فى حركة مستمرة فى كل أنحاء المحلول عاملة على سريان التيار الكهربائى ، وإن كان لكل منها دوره الخاص .

وعند إجراء التحليل الكهربائى ، يفقد أولا أيون الألومنيوم لو$^{+++}$ شحنته على الكاثود (المهبط) ، كما تفقد أيونات الأكسيجين أ$^{--}$ شحنتها على الأنود (المصعد) ، وتتحول إلى ذرات نشطة تتفاعل مع كربون الأنود ، متحولة إلى غازى أول وثانى أكسيد الكربون ، ويتسرب هذان الغازان إلى الهواء الجوى ، حيث يشتعل أول أكسيد الكربون متحولا إلى ثانى أكسيد الكربون ، مع اندلاع ألسنة من اللهب تتصاعد فوق القشرة الصلبة للألكترو ليت .

وعليه ، يستمر تفكك الألومينا إلى شقيها ، مع اختفاء أحدهما (الأكسيجين) ، وترسب الآخر (الألومنيوم) عند الكاثود . وتصبح المعادلة العكسية ذات اتجاه واحد (لاختفاء الأكسيجين) كما يلى :

٢ لو$_{٢}$أ$_{٣}$ ←——— ٤ لو + ٣ أ$_{٢}$ ↑

ويمكن التعبير عن تفاعلات غاز الأكسيجين مع الكربون كما يلى :

أ$_{٢}$ + ك ——← ك أ$_{٢}$

أ$_{٢}$ + ٢ ك ——← ٢ ك أ

، ٢ ك أ + أ$_{٢}$ ——← ٢ ك أ$_{٢}$

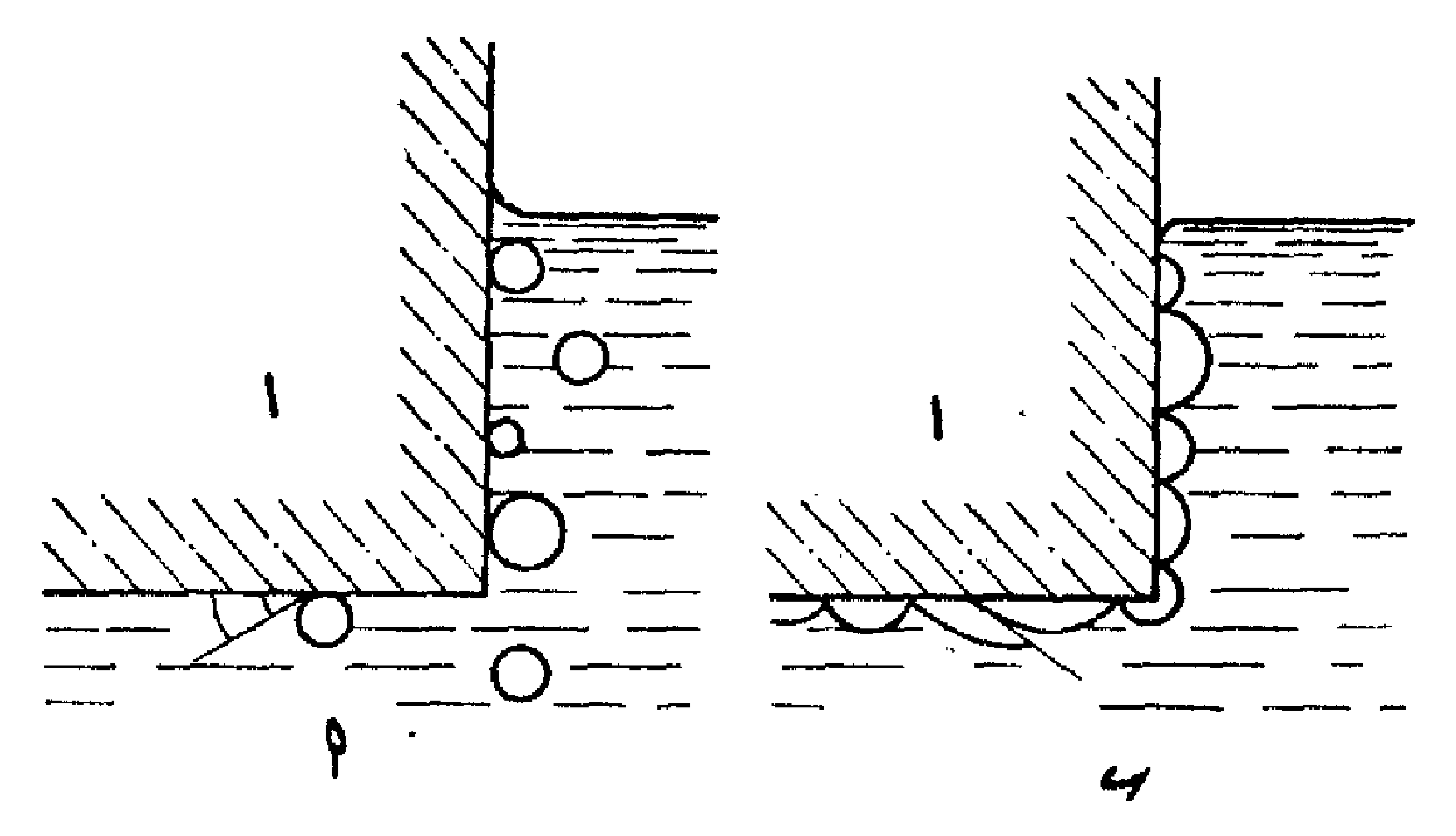
وهكذا تتحلل الألومينا كهربائيا ، ونحصل خلال عملية التحليل على الألومنيوم الفلزى . ولا تتعدى نسبة استهلاك الألومينا عمليا فى الكريولايت عن ٨٪ .

اعتبارات تكنولوجية :

(ا) التأثير الأنودى : كما سبق أن أشرنا ، يوجد مصباح كهربائى لا يمر فيه تيار كهربائى ما دام أن هناك ألومينا كافية متداوبة فى الكريولايت ، ولكن عندما تنخفض نسبتها كثيرا (حتى تصل إلى ١٪) تقفز الفلطية فى الخلية من ٥ فلط إلى أكثر من ٣٠ فلط ، ومن ثم يسرى تيار كهربائى فى المصباح ويتوهج ، مع اندلاع أقواس كهربائية صغيرة عند سطح الأنود الملامس للمصهور ، ويكون ذلك بمثابة إنذار يوضح أن الخلية فى حاجة إلى جرعة أخرى من الألومينا التى توجد ساخنة فوق قشرة الإلكترو ليت الصلدة ، وحينئذ يقوم العمال بتحطيم جزء من هذه

القشرة يسمح بسقوط بعض الألومينا التى تذوب سريعا ، فتنخفض الفلطية ثانية ، وينطفىء المصباح نتيجة لذلك .

ويمكن توضيح ما يحدث بالتصور التالى : عندما تكون نسبة الألومينا فى الإلكتروليت مناسبة ، فإن المصهور يتمكن من تغطية سطح الأنود المغموس فيه بصورة شاملة ، وبالتالى تزال فقاعات غاز الأكسيجين المتولدة سريعا من على الأنود (كما فى الشكل ٤٣) . فإذا ما انخفض تركيز الألومينا فى الإلكتروليت ، تتمكن فقاعات غاز الأكسيجين المتولدة من التراكم على سطح الأنود مكونة غشاء غازيا يزيد من المقاومة الكهربائية بصورة مفاجئة ، ويسمى ذلك « التأثير الأنودى » ، ويمكن التغلب عليه بإضافة كية مناسبة من الألومينا .



شكل (٤٣) كيفية تكون طبقة من الغاز على سطح الأنود (المصعد)

(ا) التحليل الكهربائى يسير بطريقة منتظمة عادية ، يتكون الإلكتروليت من كريولايت + ١٠٪ ألومينا

(ب) حـــدوث التأثير الأنودى ، يتكون الإلكتروليت من كريولايت + ٠،٥٪ ألومينا

(ب) فقد الألومنيوم بتذاوبه فى الإلكتروليت : إلى جانب التأثير الأنودى ، هناك عدة عمليات كيميائية ينجم عنها بعض المساوىء التى قد تؤثر على سير عملية الإنتاج بطريقة سلسلة ومنتظمة . من هذه العمليات ذوبان الألومنيوم الفلزى فى الإلكتروليت المنصهر . فالألومنيوم يتذاوب فى الإلكتروليت المنصهر حتى نسبة ١،٠٪ ، وعندئذ يصبح الإلكتروليت مشبعا بالألومنيوم . ولكن ما يحدث فى حالة التحليل الكهربائى قد يؤدى إلى فقد كية كبيرة من الألومنيوم ، إذ تتأكسد الكية المذابة من الألومنيوم بأكسيجين الهواء الجوى متحولة إلى ألومينا ، سرعان ما تذوب فى الإلكتروليت ، فيقل تركيز الألومنيوم فى الإلكتروليت ، فتذوب كية أخرى منه ، وهكذا ، مما يمثل عبئا على عملية التحليل الكهربائى ، للألومينا ، وخفضا لكفاءة التشغيل .

(ج) فقد الألومنيوم بتفاعله مع الكربون : يحدث عند درجات الحرارة العالية أن يبدأ الألومنيوم فى التفاعل مع الكربون الموجود فى الإلكتروليت مكونا كربيد الألومنيوم طبقا للمعادلة الآتية :

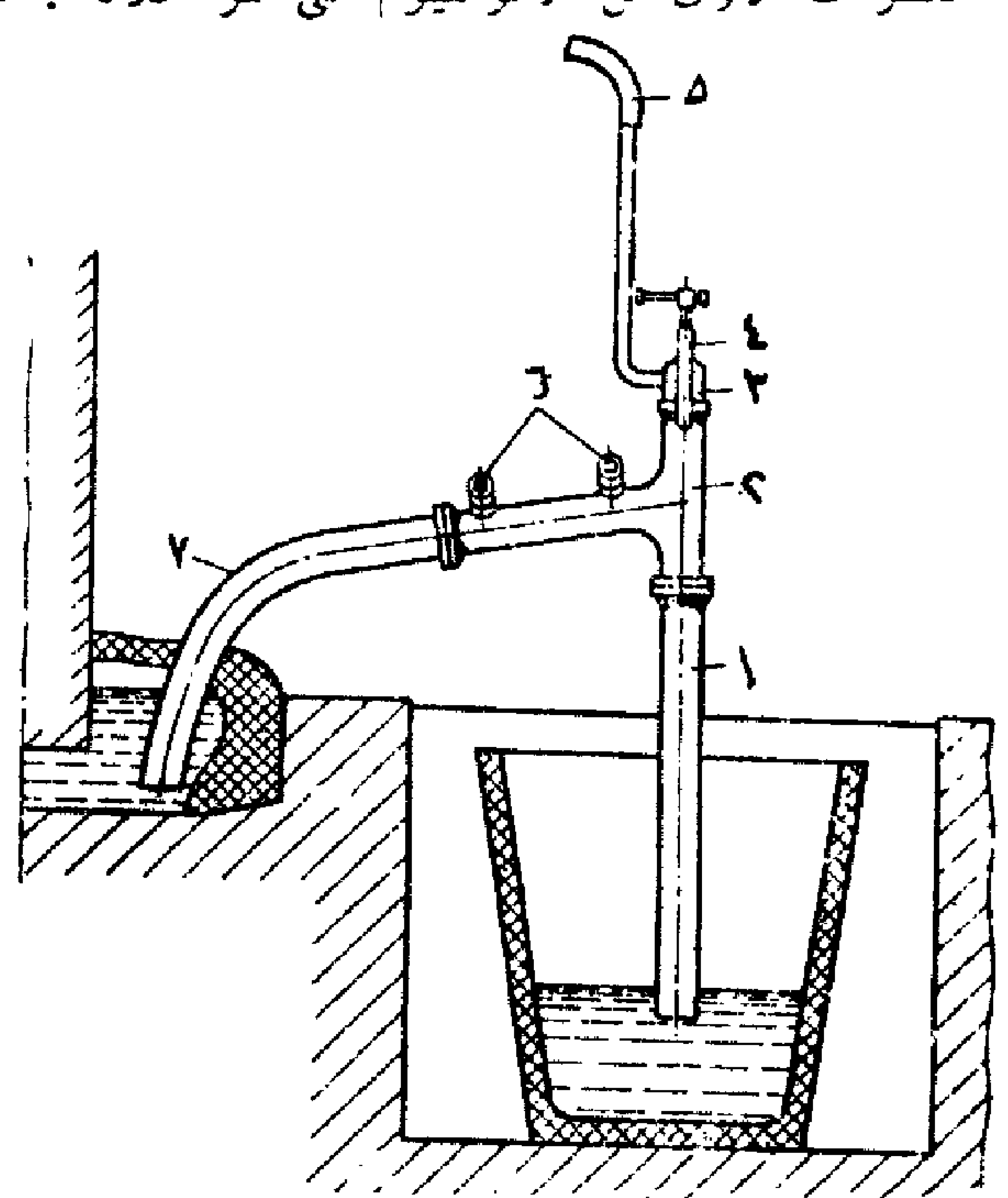
٤ لو + ٣ ك = لو٤ ك٣ .

وكربيد الألومنيوم وزنه النوعى كبير ، وموصليته الكهربائية منخفضة . ويرسب إلى قاع الخلية أسفل الألومنيوم المنصهر لثقله .

صب الألومنيوم المنصهر من الخلية :

يتراكم الألومنيوم المنصهر ، الناتج عن عملية التحليل الكهربائى للألومنيا ، على أرضية الخلية تدريجا لكثافته التى تفوق كثافة الإلكتروليت المنصهر (كثافة الإلكتروليت أكبر من كثافة الألومنيوم ، وهما فى الحالة الصلبة) .

ومن الناحية العملية ، يستهدف فى الوحدة الإنتاجية أن تكون عملية صب الألومنيوم من الخلية على فترات زمنية متباعدة ، تلافيا للإخلال بسير العمل الروتينى للخلية . وعادة يصب الألومنيوم كل يومين أو ثلاثة أيام . ويتم التفريغ خلال مثاعب (سيفونات) أو بوادق ، تعمل بخلخلة الهواء . ويوضح الشكل (٤٤) رسما للمثعب (السيفون) ، وهو يتكون من أنبوبة ثلاثية الأفرع ، يغمر طرفها الأسفل فى البودقة المعدة لتجميع الألومنيوم . أما الفتحة العليا لهذه الأنبوبة ، فتستغل لعمل خلخلة فى هواء المثعب . ويجب أن يكون مستوى البودقة دون مستوى الألومنيوم فى الخلية ، كما يجب أن يسخن المثعب إلى درجة حرارة ٢٥٠°م تقريبا ، حتى لا تتجمد القطرات الأولى من الألومنيوم التى تمر خلاله . ثم يدخل طرف المثعب

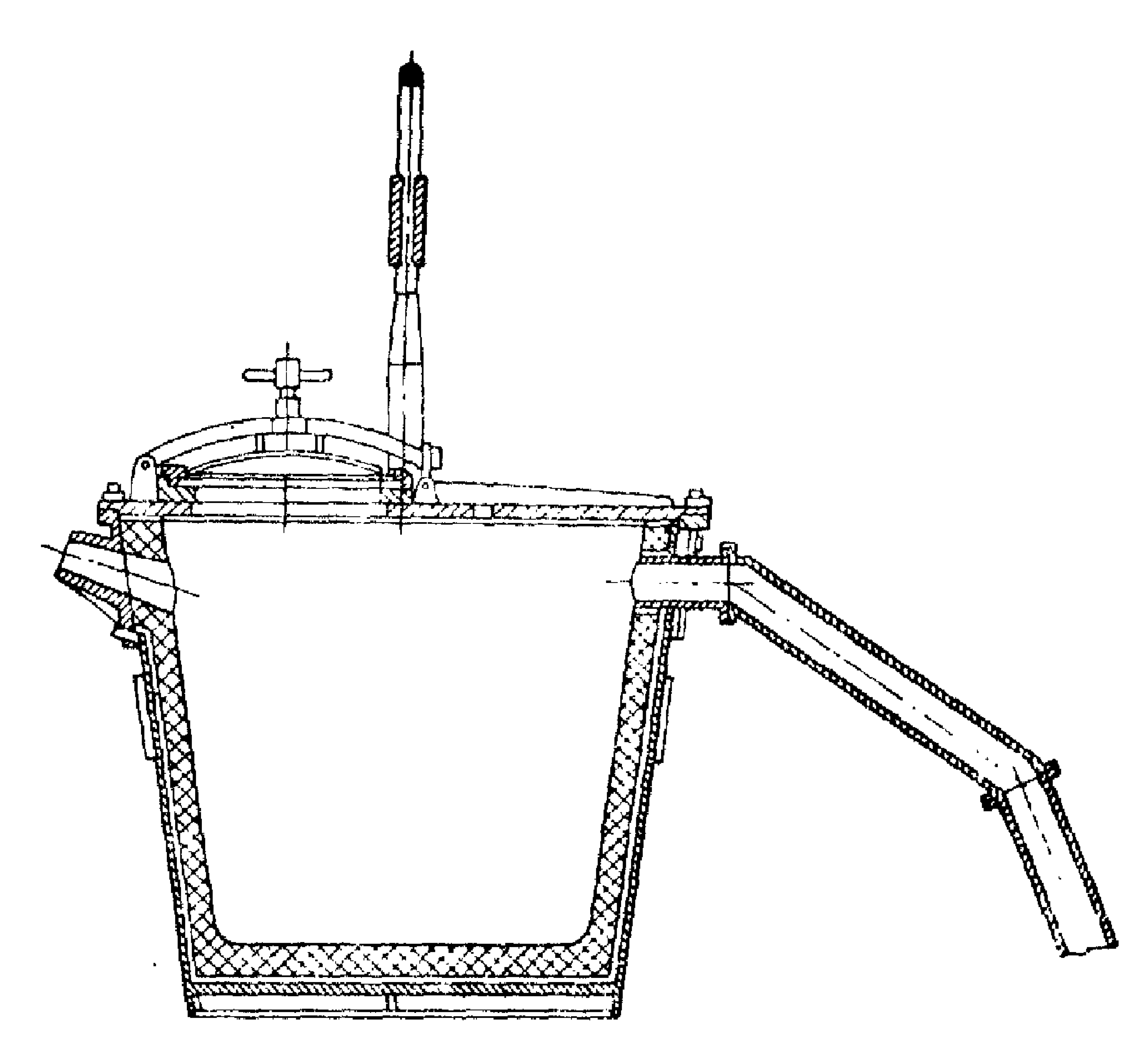


شكل (٤٤) مثعب (سيفون) يستخدم لتفريغ مصهور الألومنيوم من الخلية بواسطة الخلخلة :

١ – أنبوبة ٢ – أنبوبة على شكل T ٣ – غطاء ٤ – ماسك
٥ – خرطوم ٦ – حلقتان لتعليق السيفون ٧ – كوع

داخل الخلية بواسطة رافعة ، فإذا أوقف الضغط عن الجزء (١) من الأنبوبة ، وتمت خلخلة الضغط فى الجزء الباقى من الأنبوبة الذى ينغمر داخل الخلية ، فإن الألومنيوم المنصهر ينساب تباعا من الخلية إلى البودقة .

ويمكن صب الألومنيوم المنصهر من الخلية بواسطة بوادق التفريغ (الخلخلة) ، وفى هذه الحالة ، يجب أن يكون التفريغ كبيرا . ويبين الشكل (٤٥) رسما توضيحيا لبودقة التفريغ ، حيث تحتوى المعدات المستخدمة على ترتيبات وآليات معقدة .



شكل (٤٥) بودقة تستخدم لصب الألومنيوم المنصهر من الخلية بتفريغ الهواء

٦ – تنقيــة الألومنيــوم

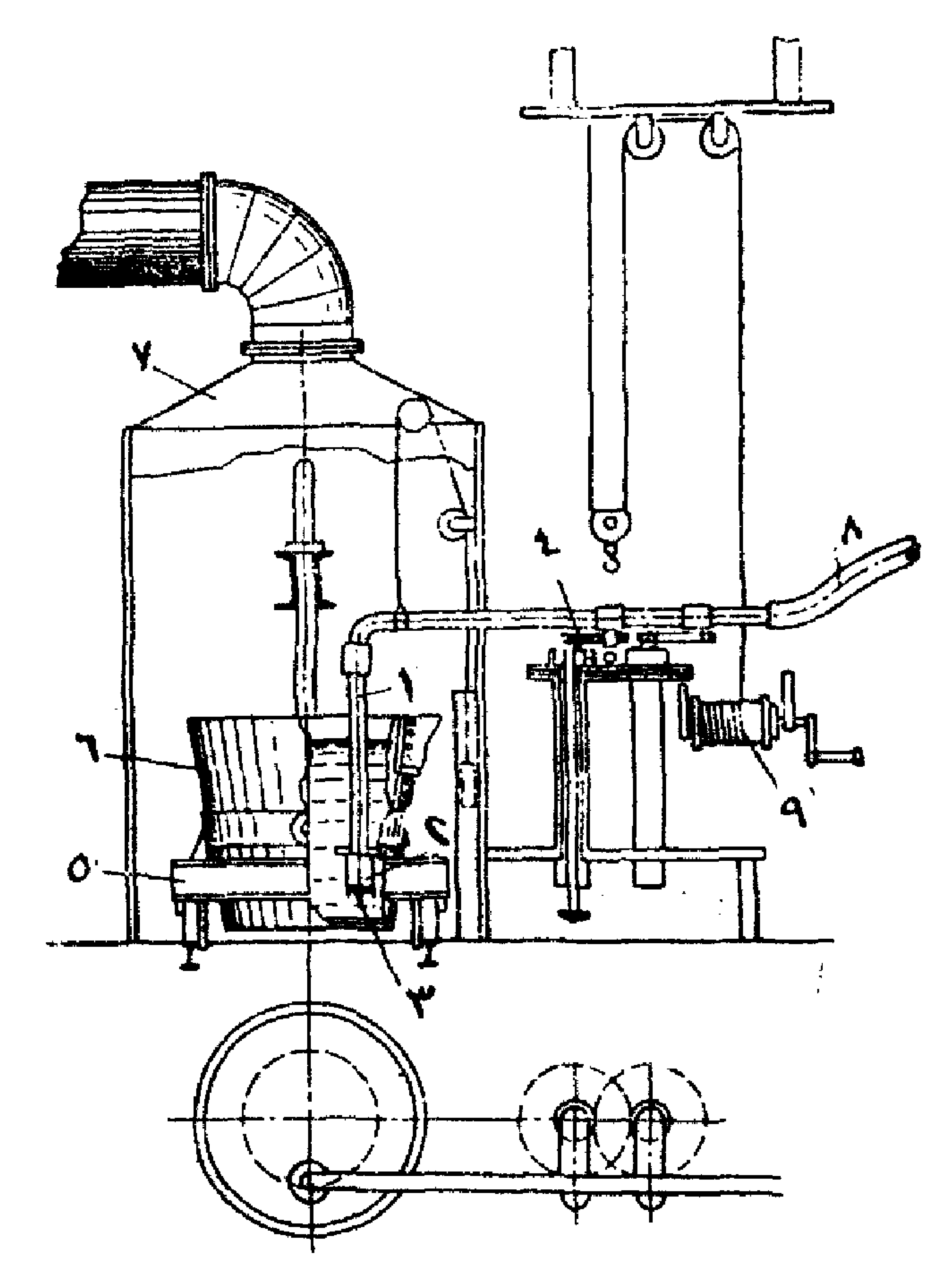
(ا) تنقية الألومنيوم باستخدام غاز الكلور :

يحتوى الألومنيوم المنصهر فور استخلاصه من الخلايا الكهربائية ، على عدد من الشوائب الفلزية واللافلزية ، وبعض الغازات الذائبة كالهيدروجين .

ويتلوث الألومنيوم المنصهر بهذه الشوائب نتيجة اختزالها من أكاسيدها المحتواة فى خام البوكسايت ، وأيضا فى أثناء عملية التحليل الكهربائى فى الخلايا . والعناصر الآتية فى مقدمة الشوائب التى يحتويها الألومنيوم :

السيليكون ، والصوديوم، والبوتاسيوم، والتيتانيوم، والمغنسيوم ، والحديد،والنحاس . ونتيجة لذوبان هذه الشوائب فى الألومنيوم الناتج ، تتأثر لدرجة كبيرة الخواص الميكانيكية للألومنيوم وقابليته للتشكيل ، وسبكيته (قابليته للسباكة) ، كما تقل مقاومته للتآكل الكيميائى ، وتنخفض موصلتيه الكهربائية . ولهذا فن الضرورى تنقية الألومنيوم من هذه الشوائب . وتجرى عملية التنقية فى البوادق باستخدام غاز الكلور . ويبين الشكل (٤٦) الجهاز المستخدم فى عملية التنقية ، حيث توضع البودقة التى تحوى مصهور الألومنيوم تحت قلنسوة خاصة . وتمرر الأنبوبة الموصلة بالأسطوانات التى تحوى غاز الكلور ، من خلال فتحة فى هذه القلنسوة .

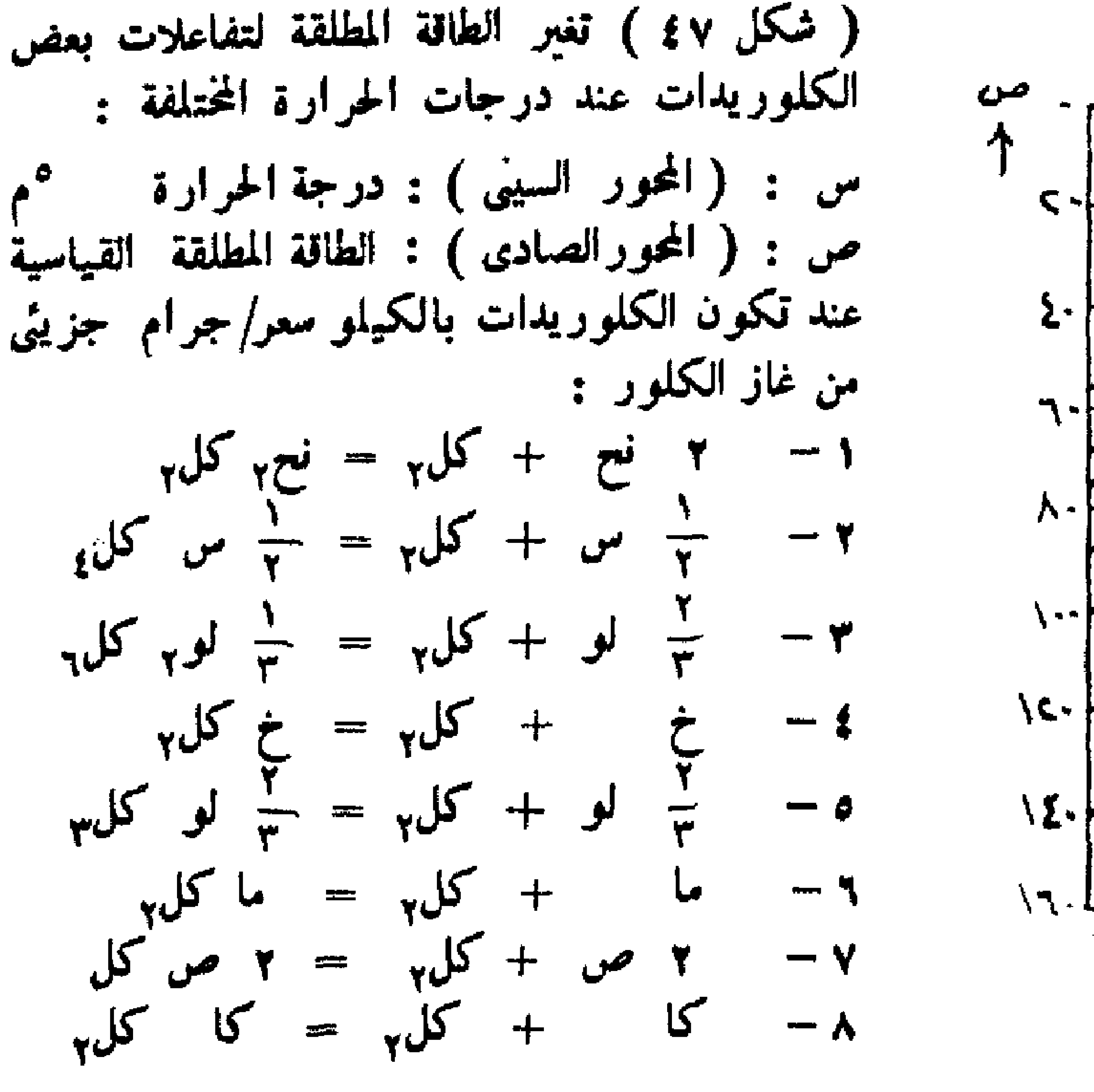
ويجب أن توضع اسطوانات غاز الكلور فى مكان خاص حماية لصحة العاملين فى الموقع ، كما يجب سحب الغازات الناتجة عن عملية المعالجة بالكلور (أغلبها غاز كلوريد الهيدروجين يد كل) بعيدا عن المنطقة . وتتم عملية المعالجة بالكلور عند درجة حرارة ٧٢٠-٧٥٠°م ، حيث يدفع تيار من غاز الكلور خلال أنبوبة من الجرافيت أو الكوارتز ، لها انتفاخ يعمل على توزيع الغاز بانتظام ، فيتحد جزء منه ببعض الألومنيوم بسرعة ، مكونا كلوريد الألومنيوم لوكلم ، الذى يتبخر سريعا لانخفاض درجة حرارة غليانه (درجة حرارة غليان كلوريد الألومنيوم ١٨٠°م) ويؤدى ذلك إلى تقليب مصهور الألومنيوم تقليبا جيدا وفورانه ، مما يساعد على فصل الشوائب غير المعدنية وطفوها على سطح المصهور .



شكل (٤٦)
جهاز تنقية الألومنيوم المنصهر باستخدام غاز الكلور :
١ — أنبوبة توصيل غاز الكلور
٢ — نفاخة
٣ — فتحات هروب غاز الكلور
٤ — منضدة بها آلية للتدوير
٥ — بودقة
٦ — عربة
٧ — غرفة التنقية بغاز الكلور
٨ — خرطوم مطاط
٩ — اسطوانة تستخدم ضمن آلية الرفع

وفى أثناء عملية التقليب الذاتية ، تتمكن بعض الفلزات من الاستيلاء على الكلور والاستئثار به ، فتنتزعه من كلوريد الألومنيوم على حسب مقدار الطاقة المطلقة لهذه الكلوريدات عند درجة حرارة التنقية .

ويوضح الشكل (٤٧) مقدار التغيير فى الطاقة المطلقة عند درجات الحرارة المختلفة .



(شكل ٤٧) تغير الطاقة المطلقة لتفاعلات بعض الكلوريدات عند درجات الحرارة المختلفة :

س : (المحور السينى) : درجة الحرارة °م

ص : (المحور الصادى) : الطاقة المطلقة القياسية عند تكون الكلوريدات بالكيلو سعر/جرام جزيئى من غاز الكلور :

١ – ٢ نح + كل$_2$ = نح$_2$ كل$_2$

٢ – $\frac{1}{2}$ س + كل$_2$ = $\frac{1}{2}$ س كل$_4$

٣ – $\frac{2}{3}$ لو + كل$_2$ = $\frac{1}{3}$ لو$_2$ كل$_6$

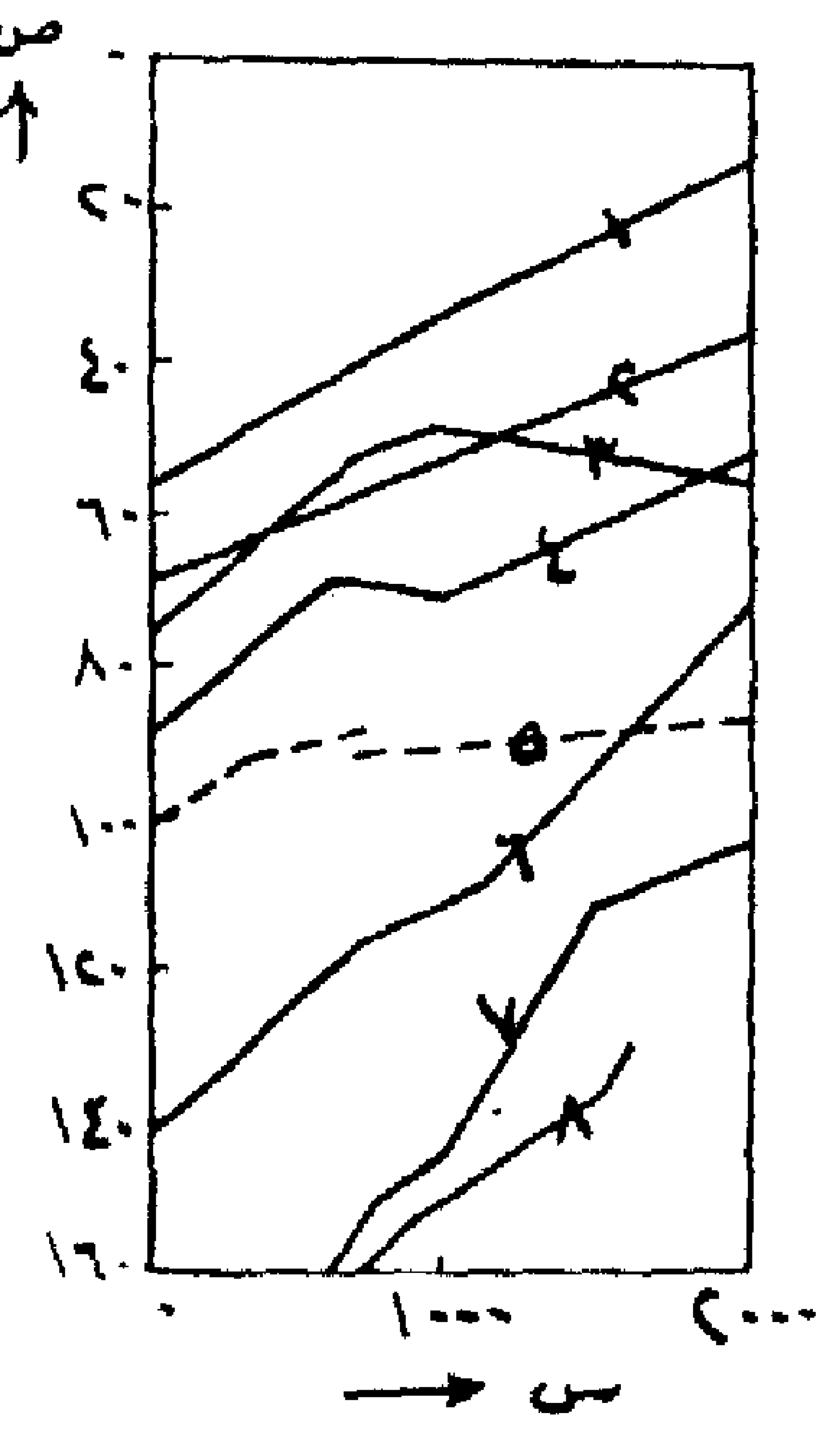
٤ – خ + كل$_2$ = خ كل$_2$

٥ – $\frac{2}{3}$ لو + كل$_2$ = $\frac{2}{3}$ لو كل$_3$

٦ – ما + كل$_2$ = ما كل$_2$

٧ – ٢ ص + كل$_2$ = ٢ ص كل

٨ – كا + كل$_2$ = كا كل$_2$



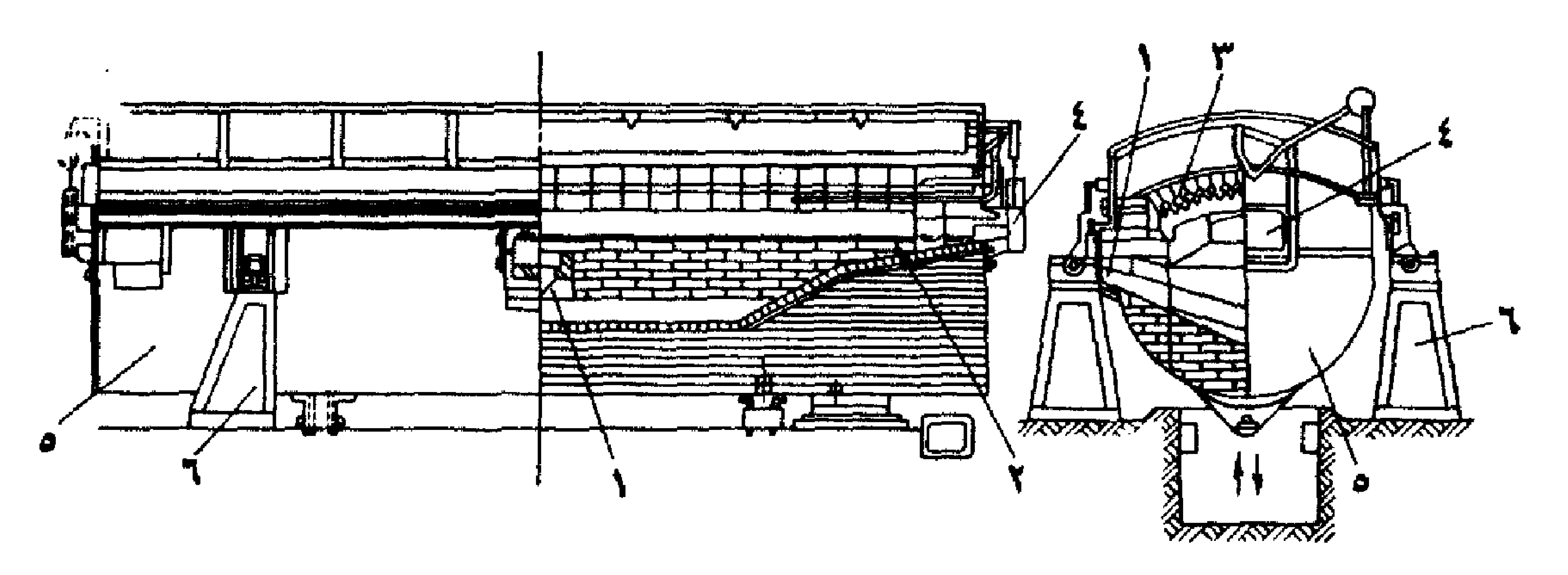
وتطفو كلوريدات الشوائب على سطح المصهور لخفة أوزانها .

وبعد الانتهاء من عملية التنقية ، ينقل الألومنيوم النقى إلى أفران مقاومة كهربائية ، يبين الشكل (٤٨) أحدها .

ويتكون جسم فرن المقاومة الكهربائى من هيكل معدنى ، جزؤه الأسفل على هيئة نصف أسطوانة ، يستند على مرتكزات منشورية الشكل ، أما جوف الفرن فيتألف من حجرتين أماميتين ومن حوض متجمع . ويكون الفرن مبطنا بالطوب الحرارى . وتثبت ملفات المقاومة المصنوعة من الصلب النيكل الكرومى فى سقف الفرن .

ويمكن إمالة الفرن لإخراج الألومنيوم من فتحة الصب . ويستخدم مثل هذا الفرن لإعادة صهر الألومنيوم للأغراض التالية :

- تنقية الألومنيوم لدرجة أكبر ، بتركه ساكنا لفترة مناسبة عند درجة الحرارة اللازمة .
- تجانس الألومنيوم بخلط الصبات المتعددة والواردة من خلايا مختلفة .



شكل (٤٨) فرن مقاومة كهربائى

١ – فتحة الصب	٢ – الغرفة الأمامية
٣ – مسخنات تعمل بالمقاومة الكهربائية	٤ – فتحة الشحن
٥ – غلاف معدنى	٦ – أعمدة ارتكاز الفرن

(ب) تنقية الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربائى :

تستخدم هذه الطريقة لحصول على ألومنيوم بالغ النقاء ، حيث يجرى استخدامه فى أغراض البحث العلمى ، وما شابه ذلك . وتصل نسبة النقاء إلى ٩٩,٩٩٩٪ . ويحد من انتشار هذه الطريقة على نطاق صناعى واسع ، تكاليفها الباهظة .

وتجرى حاليا عملية التنقية بالتحليل الكهربائى فى وسط منصهر ، يكون الأنود فيها سبيكة للألومنيوم غير النقى مع فلز ثقيل ، ويكون الكاثود فلز الألومنيوم النقى ، وتملأ المسافة بين الأنود والكاثود بطبقة من الإلكتروليت تتكون من أملاح الفلوريدات والكلوريدات اللامائية (لا تحتوى على ماء تبلور) . ويجب أن يكون الوزن النوعى للإلكتروليت عند درجة حرارة العملية أكبر من الوزن النوعى للألومنيوم النقى ، وأقل من الوزن النوعى لسبيكة الأنود .

وعادة يستخدم إلكتروليت ، وهو يتألف من مخلوط كلوريد الباريوم باكل$_2$ (بنسبة ٦٠٪) وفلوريد الألومنيوم لو فل (بنسبة ٢٣٪) ، وفلوريد الصوديوم ص فل (بنسبة ١٧٪) ، والوزن النوعى لهذا الإلكتروليت ٢,٧ . ويعتبر النحاس من أفضل الفلزات التى تستخدم لزيادة الوزن النوعى لسبيكة الأنود .

وتعرف هذه الطريقة لتنقية الألومنيوم بطريقة الطبقات الثلاث ، ويمكن التعبير عن خطوات التنقية بالمعادلات التوضيحية التالية :

عند الأنود : لو (منصهر) – ٣ إلكترونات ←—— لو$^{+++}$

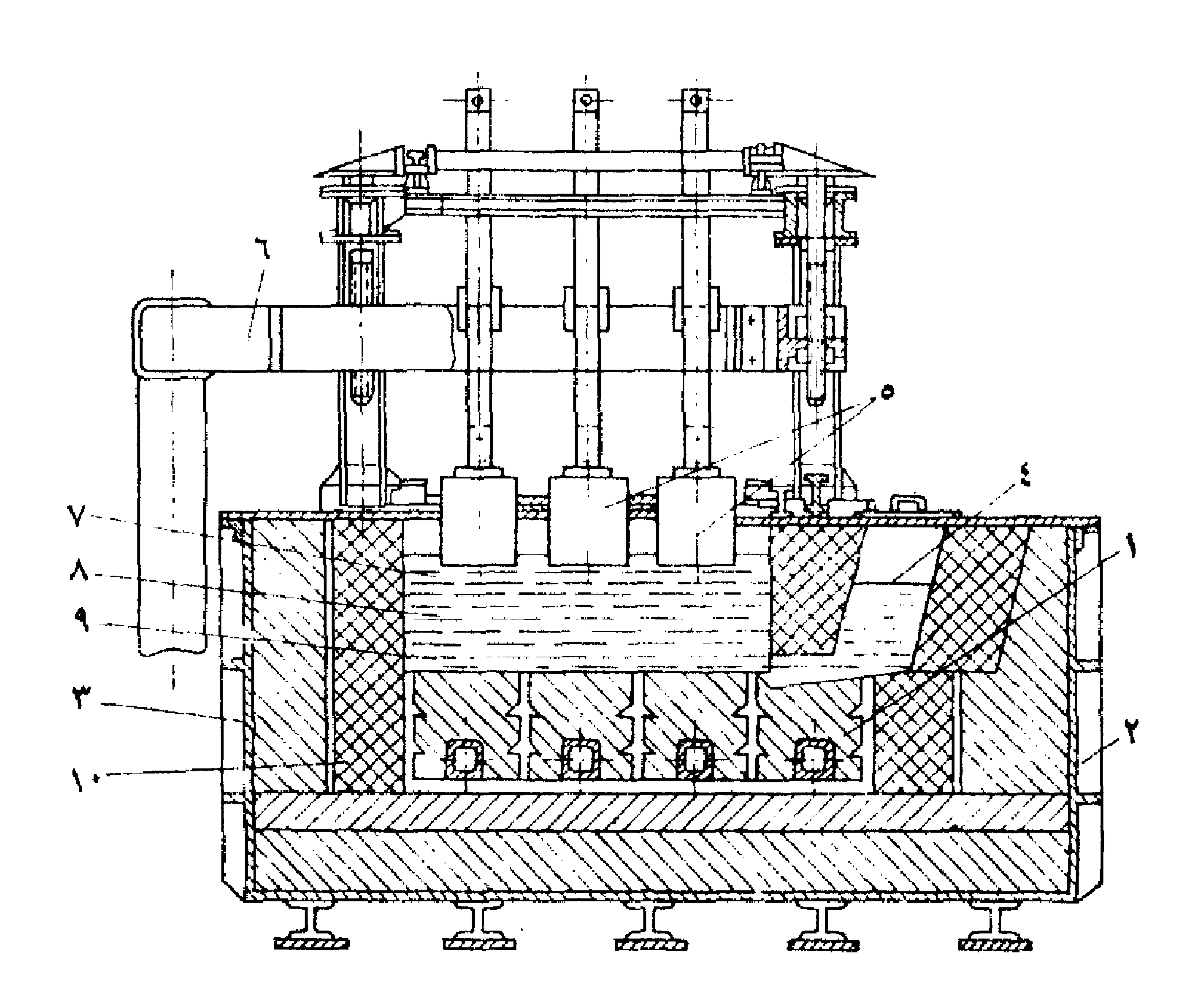
عند الكاثود : لو$^{+++}$ + ٣ إلكترونات ←—— لو (منصهر)

ولا تستطيع الشوائب الأكثر إيجابية كهربائيا من الألومنيوم، أن تنتقل من الأنود إلى الإلكتروليت مادامت سبيكة الأنود تحتوى على نسبة كافية من الألومنيوم . أما الشوائب الأكثر سلبية كهربائيا عن الألومنيوم ، فتنتقل من الأنود إلى الإلكتروليت . ولكن هذه الشوائب لا تستطيع أن تنفصل على الأنود ما دام تركيز أيونات الألومنيوم فى الإلكتروليت – أو حتى عند الكاثود – كبيرا ، لأن جهد انفصال هذه الشوائب أعلى من جهد انفصال الألومنيوم .

ويبين الشكل (٤٩) خلية تستخدم لتنقية الألومنيوم بطريقة الطبقات الثلاث .

(ج) التنقية بطريقة المغنسيوم :

تستخدم هذه الطريقة لتنقية بعض سبائك الألومنيوم ، فتصهر السبيكة مع ٢٥–٣٠٪ من المغنسيوم ، وتصل درجة حرارة انصهار هذه السبيكة إلى ٥٠٠°م . وفى هذه الحالة ، تنخفض



شكل (٤٩) خلية تنقية الألومنيوم بواسطة التحليل الكهربائى تبعا لطريقة الطبقات الثلاث :

١ – كتل الكاثود ٢ – غلاف ٣ – بطانة جانبية

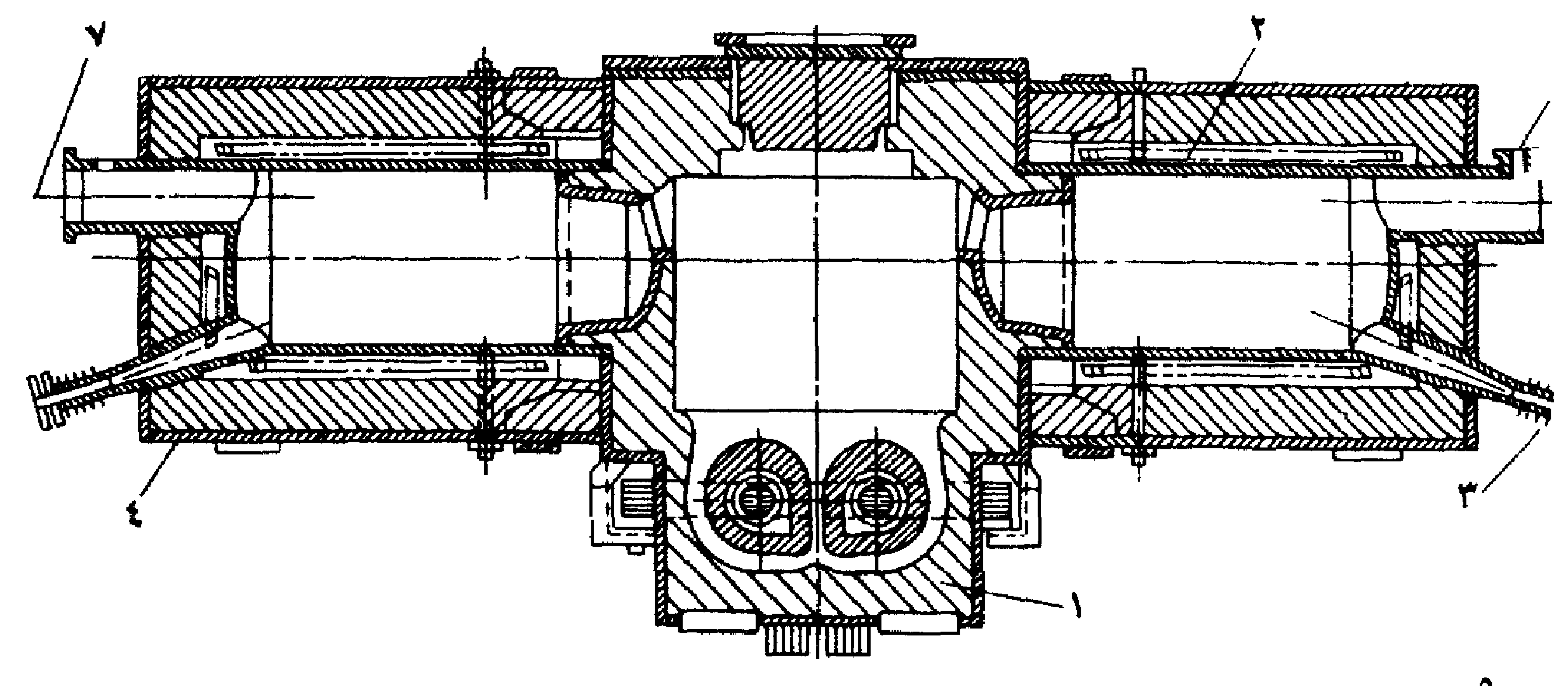
٤ – فتحة الشحن ٥ – الكاثود ٦ – عمود توصيل الكهرباء إلى الكاثود

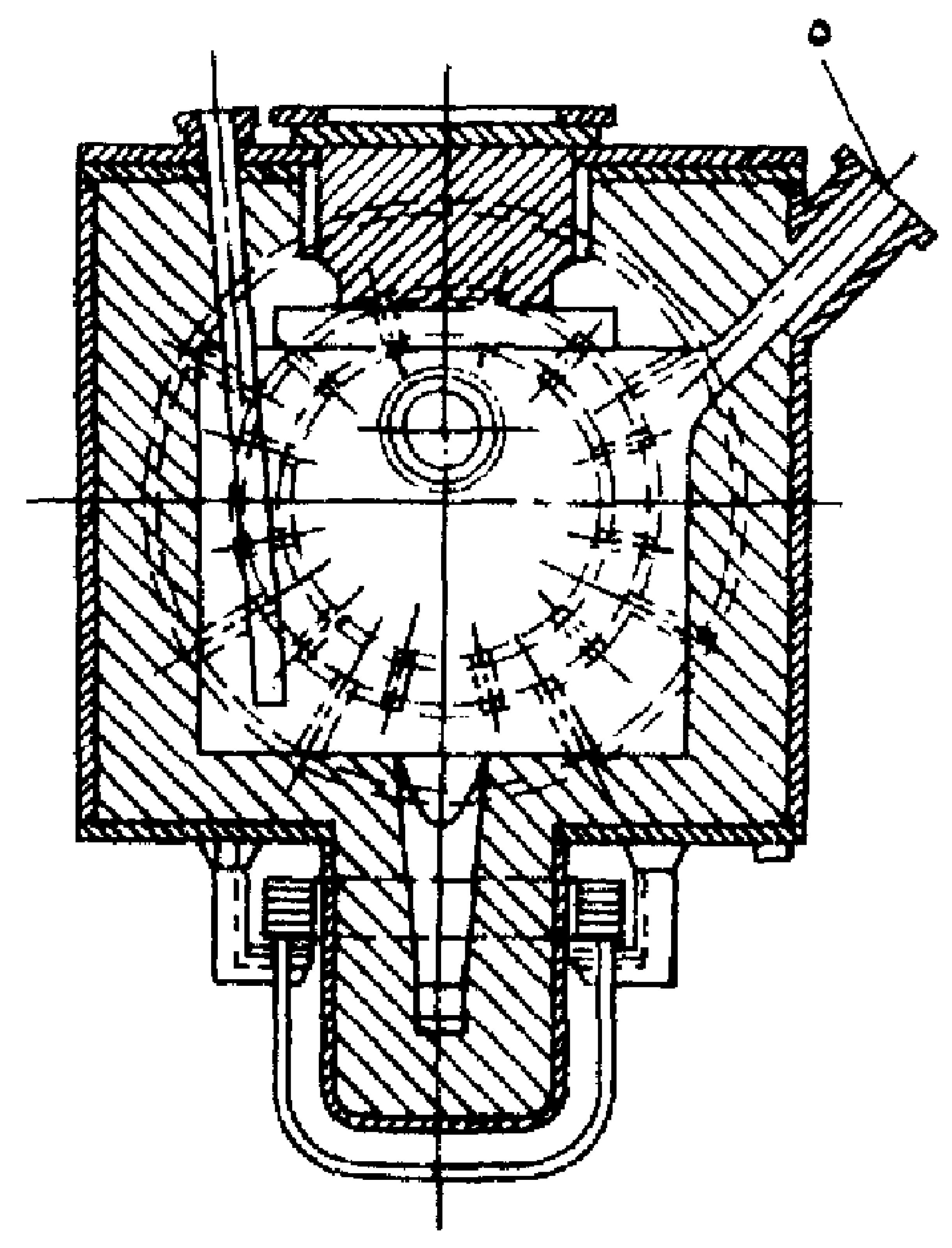
٧ – الألومنيوم أثناء تنقيته ٨ – الكتروليت ٩ – سبيكة الأنود ١٠ – بطانة من الجزيت

ذائبية الحديد فى السبيكة انخفاضا حادا ، حيث ينفصل الحديد على هيئة بلورات من لوحيم تترسب على أرضية الخلية . كما يتحد جزء من السيليكون والمغنسيوم مكونا سليسيدات المغنسيوم الخفيفة الوزن ، فتطفو على السطح . ويتحد جزء من الحديد فى أثناء ذلك مع المنجنيز . ولفصل سبيكة الألومنيوم والمغنسيوم عن المركبات الكيميائية لحديد والسيليكون والمنجنيز ، يجرى ترشيح المصهور خلال طبقة من حبيبات البازلت تحت التفريغ (الخلخلة) عند درجة حرارة ٥١٠—٥٢٠°م ولا تزيد نسبة الحديد فى المصهور بعد ترشيحه عادة على بضعة أجزاء فى الألف .

ويبخر المغنسيوم من سبيكة الألومنيوم والمغنسيوم بعد الترشيح فى أفران مفرغة من الهواء تعمل بالحث الكهربائى (كما فى الشكل ٥٠) ، ثم يكثف فى مكثفات خاصة ، ويتبخر الزنك خلال هذه العملية إذا كان موجودا ضمن عناصر سبيكة الألومنيوم .

ويتم تبخير المغنسيوم والزنك عند درجة حرارة ٩٠٠ – ٩٥٠°م عندما يصل الضغط إلى ٠,١ مم زئبق ، ويراعى الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة فى المكثفات عند ٢٠٠°م تقريبا ، عندئذ يتبخر كل من المغنسيوم والزنك من سبيكة الألومنيوم ، حيث يترسبان على جدران المكثفات على هيئة بلورات .





شكل (٥٠)

فرن الحث الكهربائى ، يستخدم لتصعيد المغنيسيوم من سبيكة الألومنيوم والمغنسيوم خلال جو مفرغ (ضغط مخلخل لدرجة كبيرة) ، ويؤدى ذلك إلى تنقية الألومنيوم :

١ — هيكل الفرن
٢ — مسخنات
٣ — فتحة صب سبيكة الألومنيوم والمغنسيوم
٤ — معوجـــة
٥ — فتحة صب الألومنيوم النقى
٦ — فتحة دخول الهيدروجين
٧ — خط تفريغ الهواء

الباب الثـــالث

الميتالورجيا الفيزيقية للفلزات وتطبيقاتها

مقدمة فى الميتالورجيا الفيزيقية :

تتسم معظم الفلزات ، عند اتحادها ، بخاصية التذاوب المتبادل المحدود فى الحالة المنصهرة . وهناك مجموعة من الفلزات تتذاوب منصهرة فى بعضها بعضا مثنى مثنى بغير حدود .

ونادرا ما نجد فلزين لا يتذاوبان إطلاقا فى الحالة المنصهرة ، حيث ينفصل مصهوراهما إلى طبقتين ، تعلو إحداهما الأخرى تبعا لكثافتها فى حالة الانصهار ، مثل الحديد والرصاص .

ولكن الحالة الأكثر شيوعا عند اتحاد فلزين منصهرين معا ، هى التذاوب المحدود . وفى هذه الحالة ، نحصل على محلول منصهر متجانس تماما . إذا ما كانت كية الفلز ب المضافة إلى الفلز ا لا تزيد عن ذائبيتها العظمى ، عند درجة حرارة الانصهار . ولكن من ناحية أخرى ، إذا تعدت كية الفلز ب المضافة ذائبيتها العظمى فى ا ، انفصل المصهور إلى طبقتين ، تتألفان من محلولين مشبعين : من ب فى أ ، والآخر من ا فى ب .

وباستثناء بعض الحالات النادرة لبعض الفلزات (مثل الحديد والنحاس ، النيكل والفضة النحاس والكروم) فإن التذاوب المحدود فى الحالة المنصهرة يتميز باختلاف حاد فى درجة حرارة الانصهار لكل منها ، وأحجام ذراتهما .

وعندما يتسابك فلز بفلز آخر أوبعنصر لا فلزى – يحدث تفاعل كيميائى بين ذرات العنصرين ، وتؤلف إلكترونات التكافؤ للعنصر السبيكى – التى تتميز بضعف ارتباطها إلى نواها حيث لا تنتمى إلى ذرات منفصلة ، ولكنها تشترك فى مجموعة الذرات ككل كما فى الحالة الصلبة – مجموعة كيميائية واحدة لكل المحلول المنصهر . ويعتمد توزيع ذرات (أيونات) العناصر التى تتألف السبيكة منها فى محول منصهر ، على علاقة قوى التفاعل المتبادلة بين الذرات المتشابهة وغير المتشابهة . وعند تذاوب عنصر سبيكة أحدهما فى الآخر فى الحالة الصلبة ، تتكون إما محاليل جامدة ، وإما مركبات كيميائية ، أو ينتج عنها – بعد تجمدها – مخاليط ميكانيكية (غير متحدة كيميائيا) من كلا العنصرين ا ، ب ، أو عدة محاليل جامدة . وعند تكون محاليل جامدة ، تحل ذرات العنصر المذاب محل بعض ذرات العنصر المذيب فى شبكته البلورية ، كما فى الشكل (٥١) ، أو قد تكن ذرات العنصر المذاب فى المسافات البينية الفاصلة بين الذرات ، كما فى الشكل (٥٢) .

فى معظم الحالات إذن ، تتسم عناصر السبيكة بتذاوب متبادل محدود فى الحالة الصلبة . ومع ذلك ، فإن كثيرا من الفلزات لها ذائبية متبادلة غير محدودة .

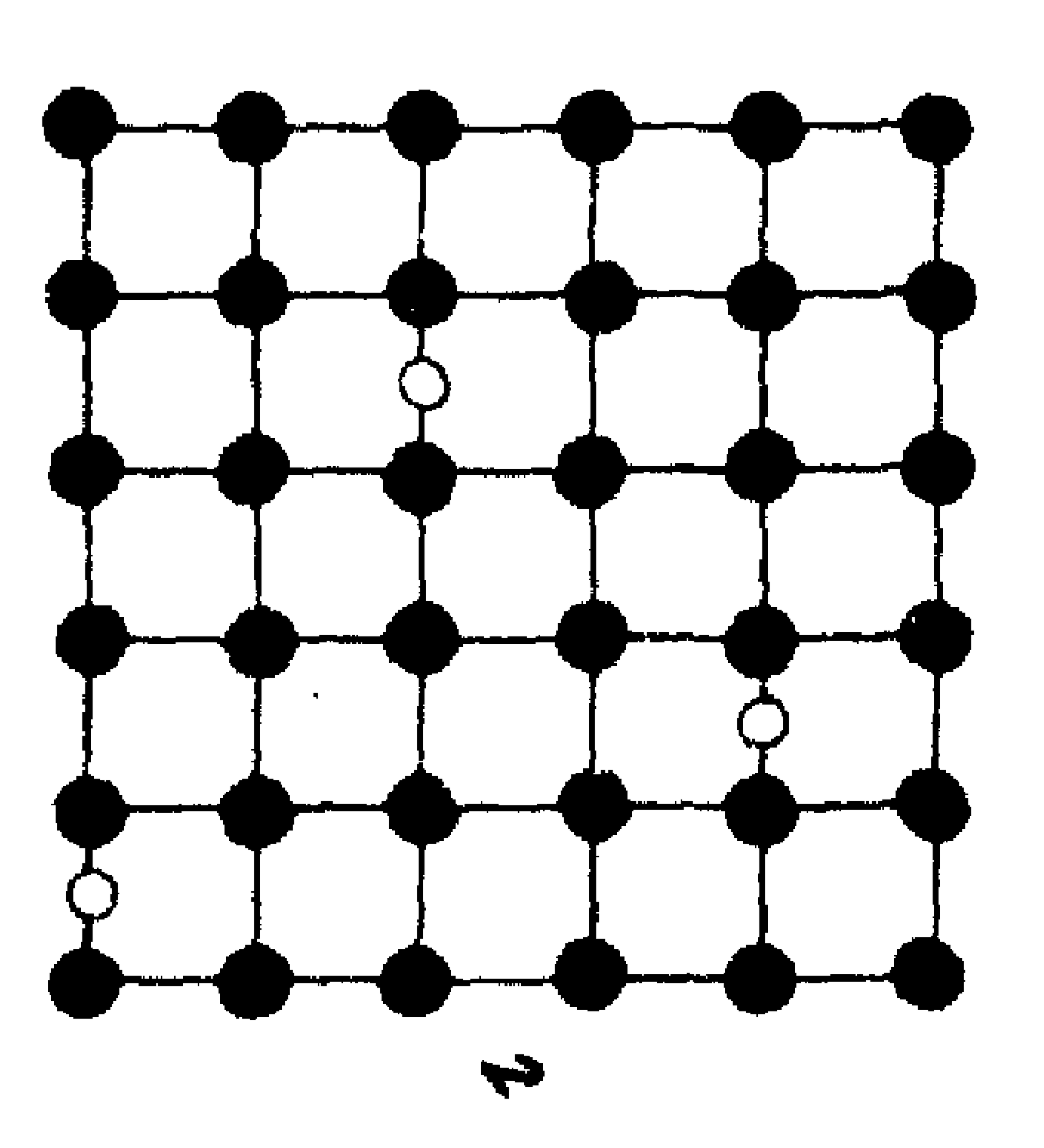
أ

شكل (٥١)

ذرات العنصر المذاب تحل محل بعض ذرات العنصر المذيب فى شبكته البلورية :

● ذرة العنصر المذيب

○ ذرة العنصر المذاب



شكل (٥٢)

ذرات العنصر المذاب تكمن فى المسافات البينية الفاصلة بين ذرات العنصر المذيب :

● ذرة العنصر المذيب

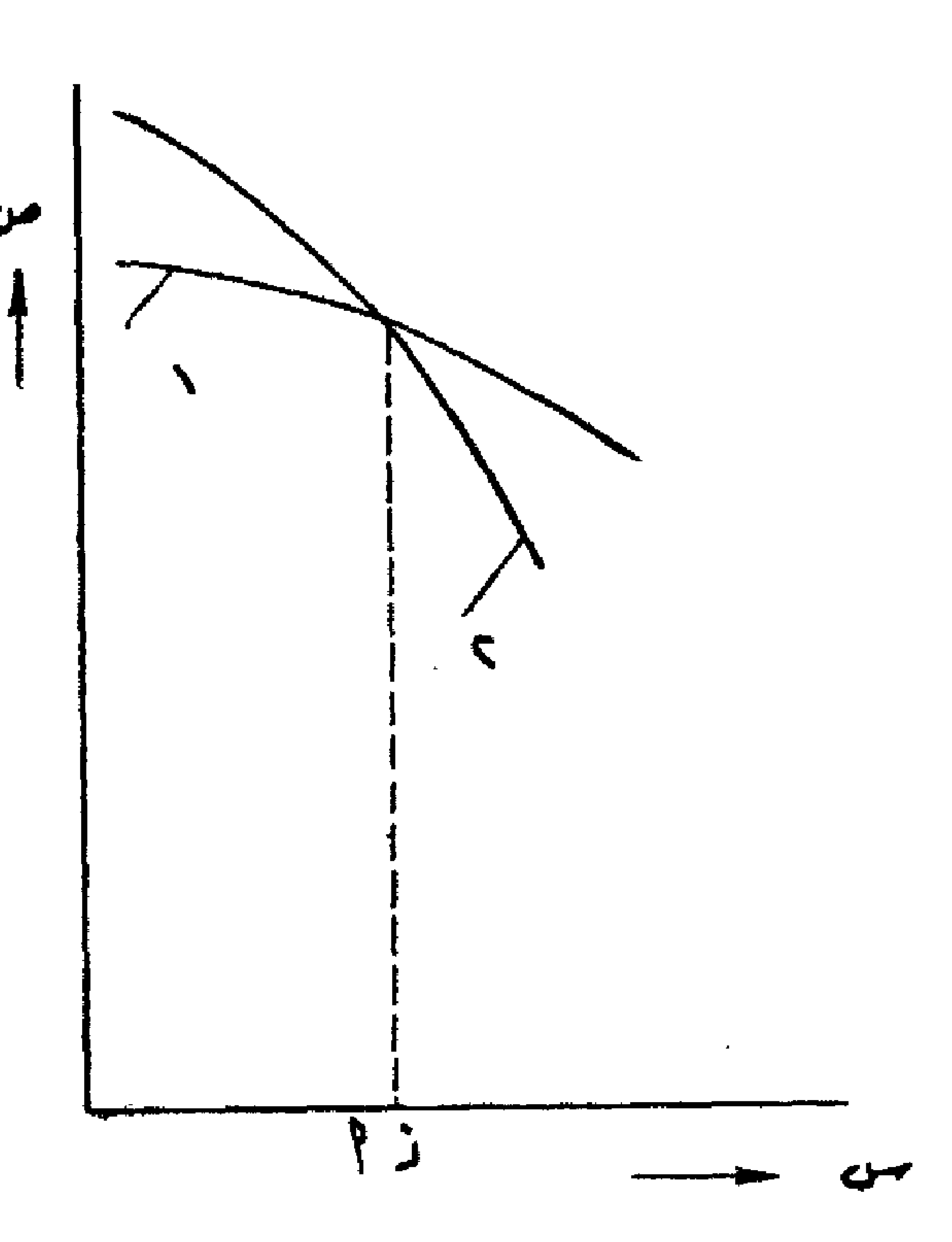
○ ذرة العنصر المذاب

وإذا كان أحد عناصر السبيكة موجودا بكمية تفوق حد تذاوبه فيها ، فإن الكمية الزائدة من هذا العنصر تكون صنفا (طورا) مستقلا ، قد يكون محلولا جامدا مشبعا ، أو مركبا كيميائيا ، أو بلورات مستقلة لهذا العنصر .

وفى بعض الأحيان ، يختلف المركب الكيميائى عن المحلول الجامد فى أن المركب الكيميائى تكون له شبكته البلورية الخاصة به ، والتى تميزه عن غيره من المركبات ، وهو فى معظم الأحيان يتطلب من الناحية الكمية علاقة محددة لمكوناته كى يتكون .

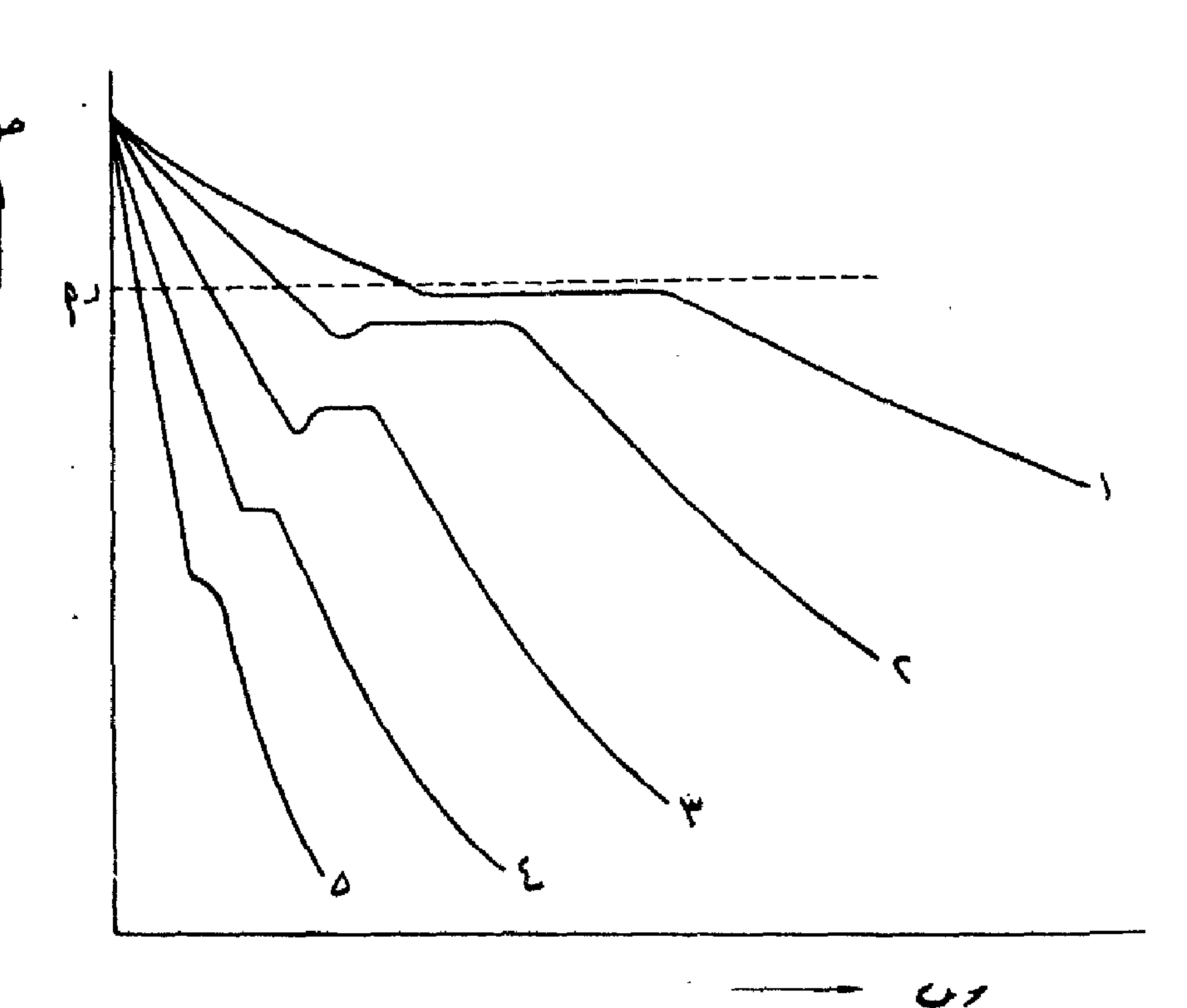
وتكون عملية التحول الانتقالية لسبيكة من حالة الانصهار إلى الحالة الصلبة ، مصحوبة بتحول المجموعة الكيميائية إلى حالة تقل فيها الطاقة المطلقة لها ، كما فى الشكل (٥٣) .

وكما هى الحال فى تجمد الفلزات النقية ، يبدأ هذا التحول فقط إذا تعرضت السبيكة لتبريد



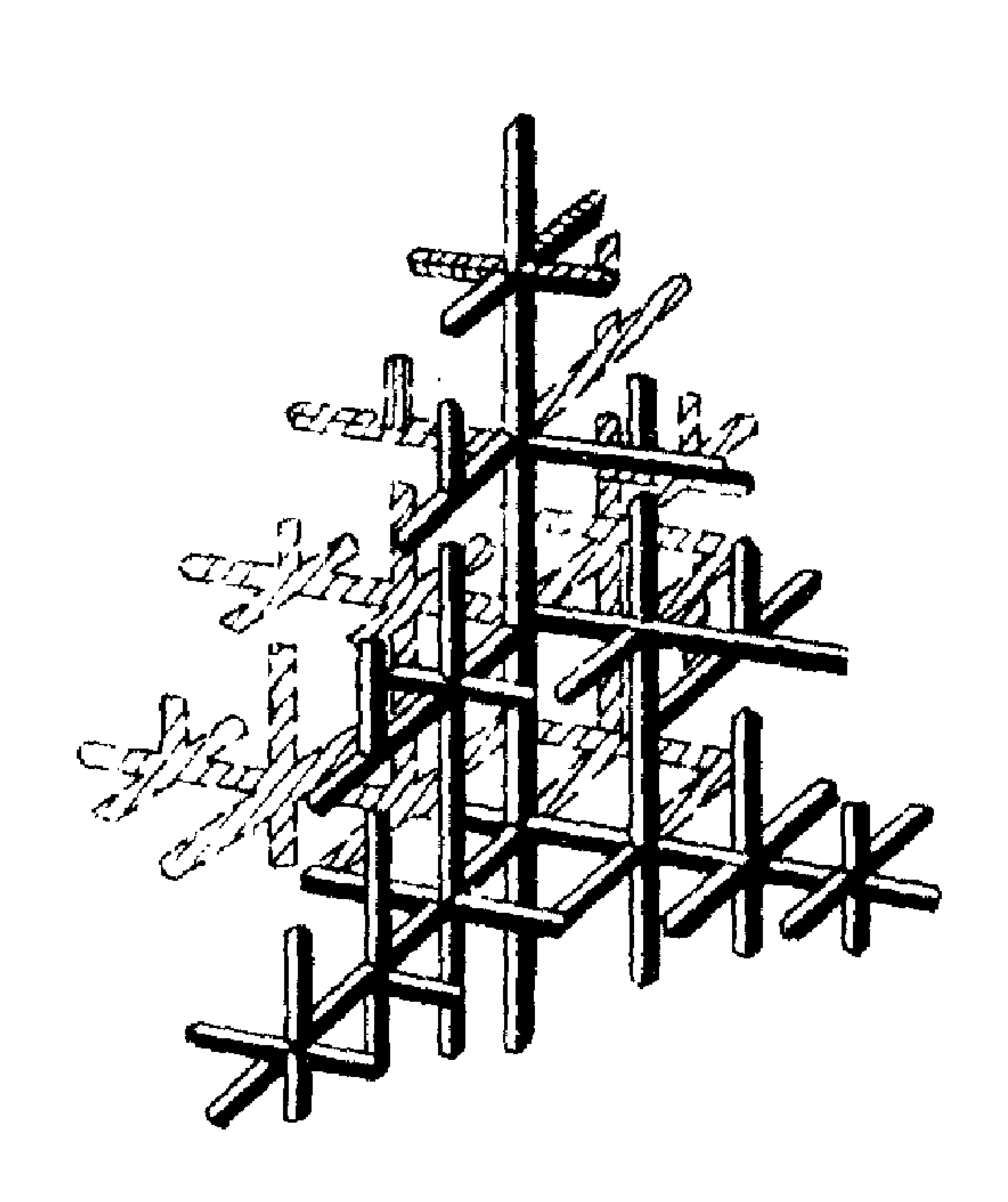
شكل (٥٣)
تغير مقدار الطاقة المطلقة مع درجة الحرارة في حالتي الصلابة والسيولة :
المحور س : يمثل درجة الحرارة
المحور ص : مقدار الطاقة المطلقة
د ا : درجة حرارة الإتزان بين حالتي الصلابة والسيولة

مفرط (دون نقطة تجمدها) ، كما في الشكل (٥٤) . وعندئذ تبدأ بلوراتها في التكون ،

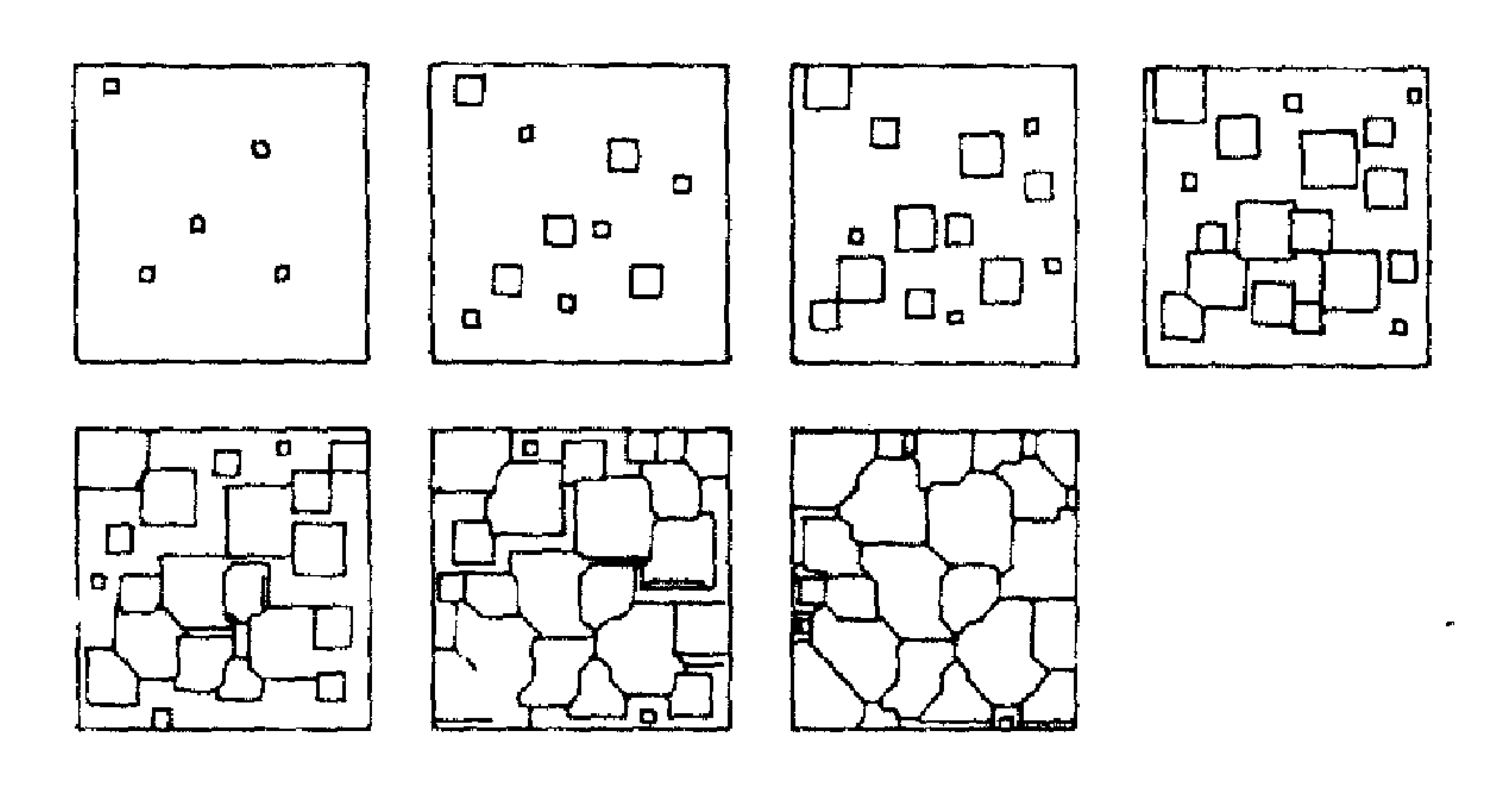


شكل (٥٤) تجمد الفلز النقي أثناء تعرضه لتبريد مفرط
المحور س : الزمن
المحور ص : درجة الحرارة المئوية
١ – معدل تبريد بطيء جدا ، يتعرض المصهور لدرجة « تبريد مفرط » طفيفة ، ومن ثم فهو يتجمد عند درجة حرارة تقارب درجة حرارة الإتزان د ا (أنظر شكل ٥٣). الجزء الأفقي من المنحنى يدل على ثبوت درجة الحرارة نتيجة انطلاق الحرارة الكامنة وتعويضها الحرارة المفقودة بالتبريد
٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ : معدلات تبريد متزايدة ، وفيها يتجمد الفلز المنصهر عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة الاتزان د ا

ثم لا تلبث أن تصبح نوى تنمو بعد ذلك كتركيب دندريتى (تفرعى يشبه أفرع الشجرة) كما فى الشكل (٥٥) ، أو كبلورات متكاملة الأسطح كما فى الشكلين (٥٦ ، ٥٧) .

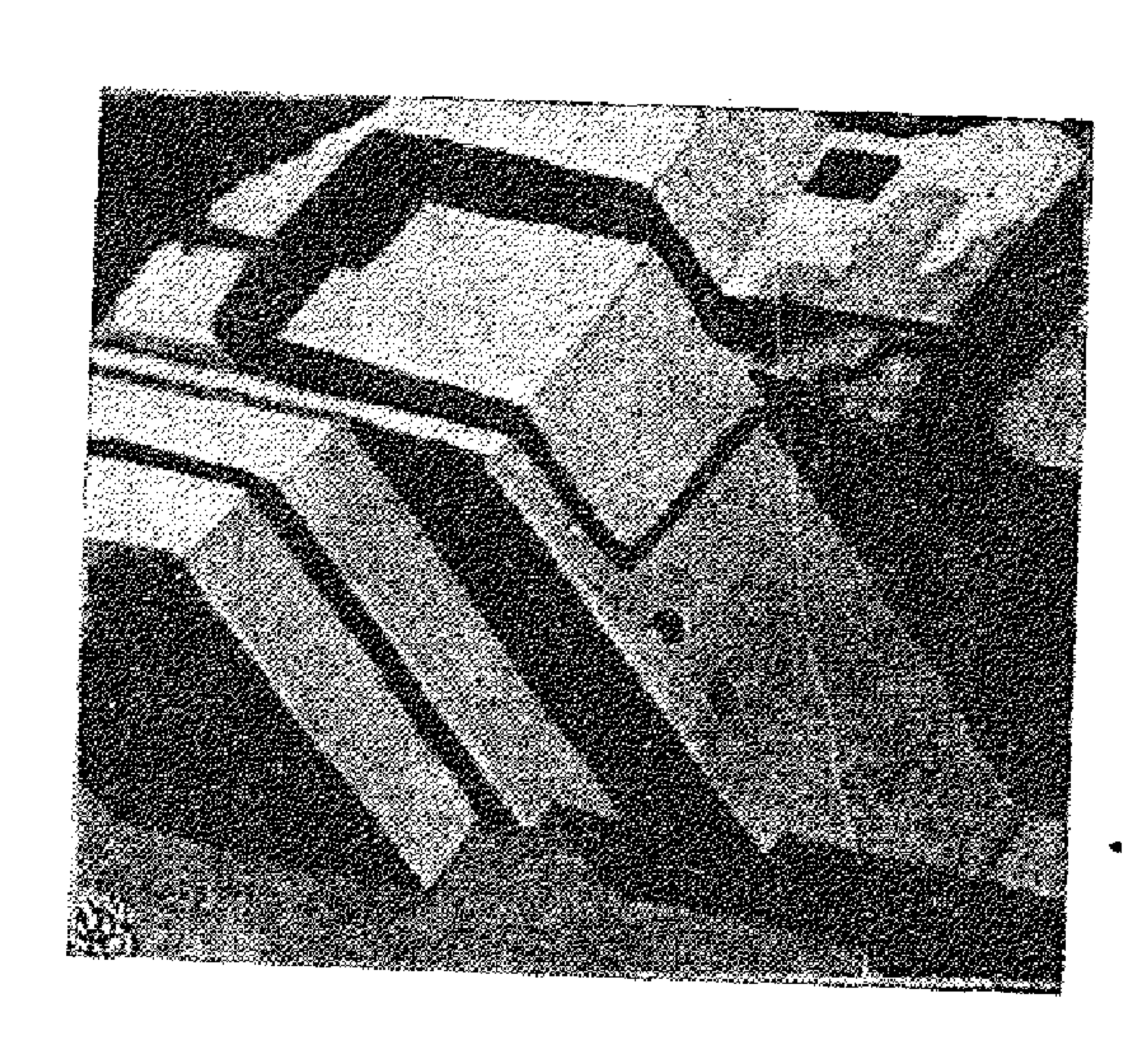


شكل (٥٥)
تركيب دندريتى



شكل (٥٦)

رسم توضيحى يبين خطوات تجمد فلز نقى من حالة الانصهار حتى تكوين بلورات متكاملة الأسطح



شكل (٥٧)
التركيب البلورى للألومنيوم كما يتضح من الفحص المجهرى (مكبرة ٧٠٠ مرة)

وعندما تتجمد السبائك ، فإن الأصناف (الأطوار) المتكونة حديثا تكون مختلفة فى تركيبها الكيميائى عن المحلول المنصهر الأصلى . ولذلك ، فإنه لتكوين نواة مستقرة ، لا يكون كافيا حدوث تغيرات فى الطاقة فقط – كما هى الحال لمجموعة مكونة من مكون واحد – بل يجب أن يكون هناك تباين فى التركيز أيضا .

ويقل كثيرا معدل نمو البلورات فى المحاليل عنه فى الفلزات الخالصة . ويعزى ذلك إلى أن النمو البلورى فى محلول ما لا يكون مصحوبا فقط بتكون نوى ثنائية الأبعاد على أوجه البلورة ، كما يحدث فى حالة الفلزات الخالصة ، ولكن يكون مصحوبا أيضا بانتشار ذرات المكونات فى المحلول المنصهر . وكلما كان الفرق فى التركيز بين المحلول المنصهر وبين البلورات التى تتكون كبيرا ، كان معدل نمو البلورات بطيئا .

وبعد تجمد مصهور السبيكة كلية ، تحدث تغيرات فى التركيب البنيانى ، بسبب التحولات التآصلية ، وبسبب تحلل المحلول الجامد نتيجة للتغيرات التى تطرأ على التذاوب المتبادل بين المكونات فى الحالة الصلبة .

وتتسم التحولات فى الحالة الصلبة بطابع بلورى فقط ، وتتم بتكون بلورات الأصناف (الأطوار) الجديدة ثم نموها .

قاعدة الصنف (الطور) ومنحنيات الاتزان :

توضح عملية تجمد السبائك الفلزية ، بواسطة رسومات توضيحية ، تبين اتزانها الكيميائى عند أية درجة حرارة . وهى تمثيل بيانى مناسب للتغيرات التى تطرأ على حالتها نتيجة للتباين فى درجات الحرارة والتركيز . وتساعد منحنيات الاتزان ، التى تسمى أيضا الرسم البيانى للأصناف (الأطوار) ، على معرفة الصنف (الطور) الذى تحتويه السبيكة عند أية درجة حرارة وأى تركيب كيميائى . كما تساعد هذه المنحنيات على تتبع التحولات المختلفة التى تطرأ على الأصناف

أثناء تسخين أو تبريد السبيكة المعنية فى حالات اتزانها كيميائيا ، أى عندما تكون كل التفاعلات فى المجموعة الكيميائية المعطاة عكسية . وهذا يعنى أن التغيرات التى تحدث فى مجموعة ما نتيجة لعمليات تتم فى اتجاه واحد ، تكون مصحوبة بتغيرات تنتج عن عكس العملية فى المجموعة الكيميائية .

وتعرف المجموعة فى هذا المجال بأنها ائتلاف لواحد أو عدة مكونات عند مختلف الضغوط والتركيبات الكيميائية .

والمكونات هى تلك المواد (سواء أكانت عناصر أو مركبات كيميائية) ، التى يتحتم وجودها بصورة كافية لتكوين مجموعة . وعلى سبيل المثال ، يعتبر الفلز النقى مجموعة من مكون واحد ، وتعتبر سبيكة تتألف من فلزين مجموعة ثنائية من مكونين ، وهكذا .

والصنف (الطور) ، هو ذلك الجزء من مجموعة ما ، الذى له صفة التجانس الطبيعى والكيميائى . ويكون منفصلا عن الأجزاء الأخرى بسطح فاصل . وعليه فإن محلولا سائلا متجانسا هو فى الواقع مجموعة وحيدة الصنف (الطور) . كما أن خليطا لنوعين من البلورات هو مجموعة ثنائية تتألف من صنفين (نوعى البلورات) ، يختلفان فيما بينهما من حيث التركيب الكيميائى ، والبنيان البلورى وينفصلان عن بعضهما بعضا بسطح فاصل . كذلك فإن وجود سبيكة منصهرة مع بلوراتها المتجمدة ، يمثل مجموعة ثنائية الصنف (ثنائيةالطور) .

والمجموعة الكيميائية التى تتألف من عدة أصناف (أطوار) فى سلوكها وما يعتريها من اختلافات، وما يطرأ عليها من تغيرات وفقا للظروف الخارجية (درجة الحرارة والضغط) ، إنما تخضع فى كل ذلك لقاعدة هامة تعرف بقاعدة الصنف (أو قاعدة الطور) .

وتنص قاعدة الصنف (الطور) على الآتى : **فى أية مجموعة كيميائية متزنة وغير متجانسة ، فإن مجموع عدد الأصناف الموجودة مضافا إليه عدد درجات الحرية المتاحة ، يكون مساويا لعدد المكونات مضافا إليه عدد العوامل الخارجية .**

ويمكن صياغة قاعدة الصنف فى معادلة رياضية كما يلى :

ص + د = م + ع

حيث :

ص : عدد الأصناف (الأطوار) التى فى حالة اتزان .

د : عدد درجات الحرية المتاحة للمجموعة (عدد العوامل المتغيرة) .

م : عدد مكونات المجموعة .

ع : عدد العوامل الخارجية (مثلا : درجة الحرارة ، والضغط) .

ومن المعادلة السابقة نحصل على الصيغة الآتية :

د = م + ع − ص

وهذه الصورة هي الأكثر شيوعا لقاعدة الصنف .

وعدد درجات الحرية هو المقدار المستقل الخارجي ، أو العوامل الداخلية المتغيرة (درجة الحرارة ، والضغط ، ودرجة التركيز) التي قد تتغير دون أن تتسبب في اختفاء صنف (طور) موجود، أو في تكوين صنف (طور) جديد في المجموعة .

وعند دراسة الاتزان الكيميائي ، ينظر إلى كل من درجة الحرارة والضغط كعاملين خارجيين يحددان حالة المجموعة الكيميائية .

وعند تطبيق قاعدة الصنف على مجموعات فلزية ، فإنه يمكن التغاضي عن تأثير عامل الضغط ، وعليه يصبح عدد المتغيرات الخارجية عاملا واحدا فقط هو درجة الحرارة ، وتئول المعادلة إلى الصورة التالية :

د = م + ١ − ص

وفي مجموعة كيميائية بلغت حد الاتزان ، تكون لكل العوامل الداخلية والخارجية (التركيز ودرجة الحرارة على الترتيب) قيم محددة . ولما كانت درجات الحرية لايمكن أن تقل عن الصفر :

أي أن :

م − ص + ١ ≤ صفر

∴ ص ≥ م + ١

أي أن عدد الأصناف (الأطوار) في مجموعة متزنة لا يمكن أن يزيد على عدد المكونات مضافا إليها ١ (الواحد الصحيح) . وبناء عليه فإنه من المستحيل وجود أكثر من ثلاثة أصناف (أطوار) في مجموعة ثنائية متزنة ، كما أنه من المستبعد كلية الحصول على أربعة أصناف (أطوار) في مجموعة ثلاثية متزنة ، وهكذا . وإذا كان عدد درجات الحرية مساويا الصفر ، عرف الاتزان في هذه الحالة بأنه « غير متنوع » .

ويلزم لوجود مجموعة في حالة اتزان غير متنوع ، توافر ظروف محددة تماما : درجة حرارة ثابتة ، وتركيب كيميائي محدد لكل الأصناف (الأطوار) الناشئة .

وعلى سبيل المثال ، فإن فلزا نقيا منصهرا عند درجة حرارة تقارب بالكاد نقطة تجمده ، يمثل مجموعة كيميائية أحادية (لها مكون واحد هو الفلز النقي) ، وتتكون من صنفين (مصهور الفلز وبعض بلورات منه قد تجمدت لبلوغه درجة حرارة تقارب بالكاد نقطة التجمد)لهما نفس التركيب الكيميائي تماما :

وإذن :

د = م + ١ − ص

= ١ + ١ − ٢ = صفر

مما يعني أن الاتزان « غير متنوع » فى هذه المجموعة الكيميائية . وفى هذه الحالة لا يمكن اختيار درجة الحرارة (نقطة التجمد أو نقطة الانصهار) أو تغييرها عشوائيا . إذ أنه توجد درجة حرارة واحدة فقط تكون عندها المجموعة فى حالة اتزان ، هى درجة حرارة التجمد (أو الانصهار) لهذا الفلز . وإذا كان عدد الأصناف (الأطوار) أقل من أقصى عدد ممكن بواحد (الواحد الصحيح) ، فإن عدد درجات الحرية سوف يزداد هو الآخر بنفس المقدار ، وهو واحد (د = ١) ، وتوصف هذه المجموعة بأنها « أحادية التنوع » .

ولنأخذ على سبيل المثال ، سبيكة ثنائية تتكون من فلزين ، أى لها مكونان يكونان مجموعة ثنائية الصنف (طوران) فى الحالة العامة عندما تبدأ فى التجمد . فى هذه الحالة : د = ١ . وإذا كانت د = ٢ لمجموعة ما ، فإنها تعرف بأنها « ثنائية التنوع » ، وعليه فإن المجموعة يمكن أن تكون متزنة عند درجات حرارة وتركيز مختلفين .

وفى الأغراض العملية ، من الضرورى الإلمام بحالة السبائك بصفة إجمالية ، ومعرفة تكوينها ، استنادا إلى كل من درجة الحرارة والتركيز . وإذا ما عرفت حالة سبيكة ما ، بدرجة تركيز بعينها عند أية درجة حرارة ، فإنه من المستطاع التنبؤ بخواصها ، وبتقبلها للمعاملة الحرارية ، وقابليتها للتشوه اللدن (نتيجة لعمليات الطرق ، والتشكيل بالكبس ، وبالدرفلة) كما يمكن توقع مسلك هذه السبيكة فى عمليات السباكة ، وملاءمتها لمختلف ظروف التشغيل . وهذا ما يعنينا فى موضوع دراستنا لفلز الألومنيوم .

ويمكن تمثيل جميع التحولات التى تطرأ على سبيكة ما تبعا لدرجات الحرارة والتركيز بواسطة أشكال بيانية تبين منحنيات الاتزان لهذه السبيكة . ويتخذ عادة المحور الأفقى (السينى) لتبيان درجة التركيز ، فى حين يتخذ المحور الرأسى (الصادى) لتبيان درجة الحرارة .

ومن حيث المبدأ ، تمثل منحنيات الاتزان نماذج محددة تماما من الاتزان : التذاوب التام أو الجزئى ، وجود أو اختفاء مركبات كيميائية ، إلخ ، ويمكن رسمها على أساس اعتبارات نظرية .

وفى بعض الحالات ، تتطابق منحنيات الاتزان الحقيقية للسبائك تطابقا تاما مع الرسومات البيانية التى تم استنباطها على أسس نظرية .

وعلى كل حال ، فإن منحنيات الاتزان تكون صحيحة فقط تحت الظروف التى تكون فيها العمليات الكيميائية الموجودة فى المجموعة ، فى حالة اتزان .

وفى بنود لاحقة ، سوف نورد دراسة منحنيات الاتزان لمجموعة ثنائية لعناصر التسابك المختلفة مع فلز الألومنيوم ، وذلك لأهميتها نظريا وعمليا .

منحنيات الاتزان لمجموعة ثنائية :

يمكن تقسيم منحنيات الاتزان من حيث تذاوب عنصرى مجموعاتها فى كلا الحالتين الصلبة والمنصهرة ، ومن حيث تكوينهما لخاليط ميكانيكية أو مركبات كيميائية ، إلى الأقسام التالية :

١ – مجموعة ثنائية يؤلف مكوناها خليطا ميكانيكا من البلورات فى الحالة الصلبة ، ويتذاوبان تذاوبا تاما فى الحالة المنصهرة .

٢ – مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوبا فى كلا الحالتين المنصهرة والصلبة .

٣ – مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوبا تاما فى حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما فى الحالة الصلبة محدود ، ويقل بانخفاض درجة الحرارة .

٤ – مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوبا تاما فى حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما محدود فى الحالة الصلبة (سبائك لها تحول بريتكتى) .

٥ – مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوبا تاما فى حالة الانصهار ، ويكونان عند تجمدهما مركبات كيميائية :

(ا) مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوبا تاما فى حالة الانصهار ، ويؤلفان مركبات كيميائية ثابتة بعد التجمد .

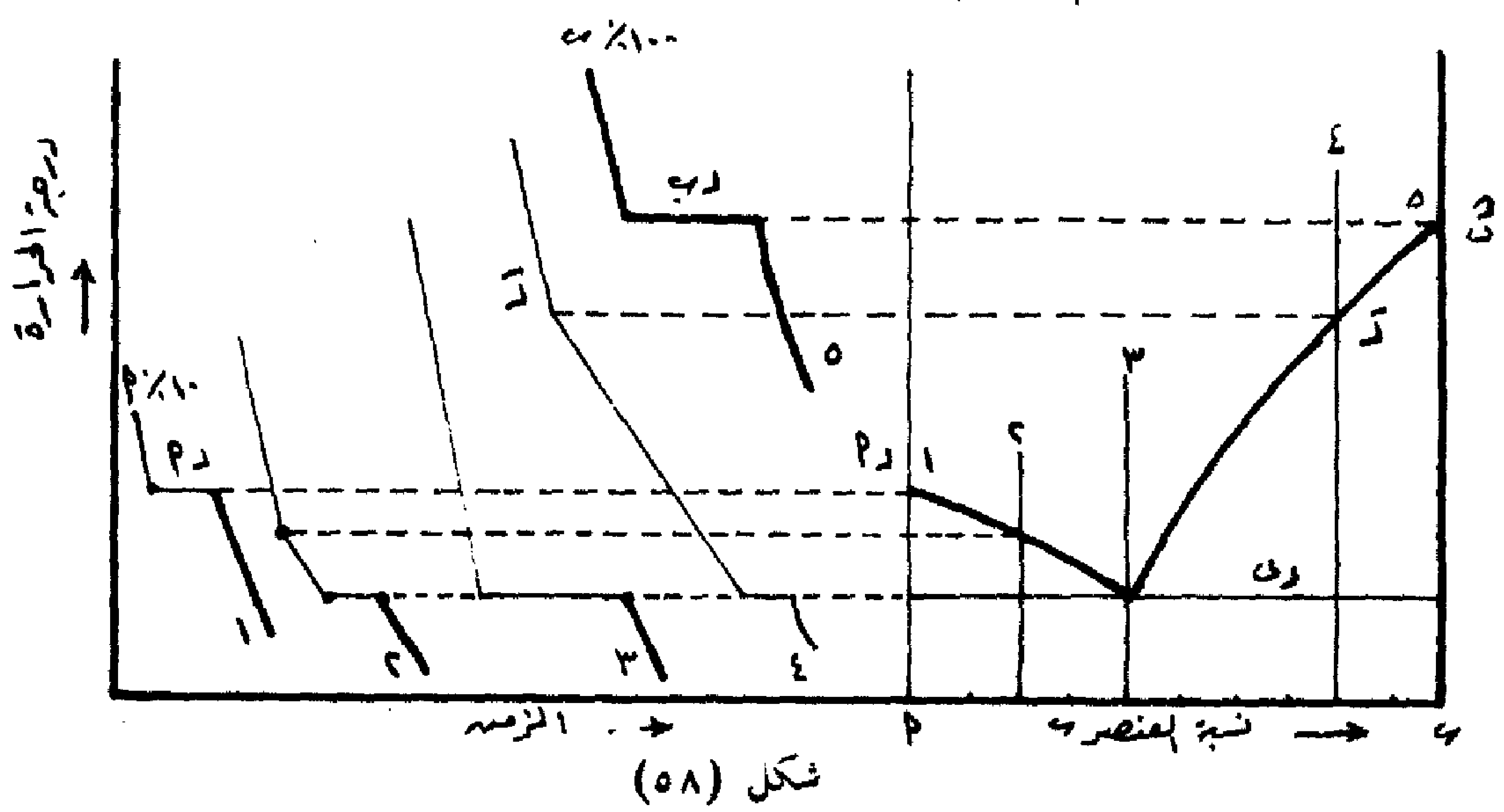
(ب) مجموعة ثنائية يؤلف مكوناها بالتجمد مركبا كيميائيا غير مستقر ، يتحلل بإعادة التسخين – قبل انصهاره – خلال تفاعل بريتكتى ، مكونا محولا جامدا وصنفا مصهورا .

٦ – مجموعة ثنائية يتعرض مكوناها إلى تحولات تآصلية (أى تحولات فى البنيان البلورى دون حدوث تغير فى التركيب الكيميائى)

وفيما يلى نعطى فكرة عامة موجزة عن كل من هذه الأقسام :

١ – مجموعة ثنائية يؤلف مكوناها خليطاً ميكانيكياً من البلورات فى الحالة الصلبة ، ويتذاوبان تذاوباً تاماً فى الحالة المنصهرة :

يمكن تمثيل هذا القسم بالرسم البيانى كما فى الشكل (٥٨) ، وفى هذه الحالة تتكون السبيكة



شكل (٥٨)

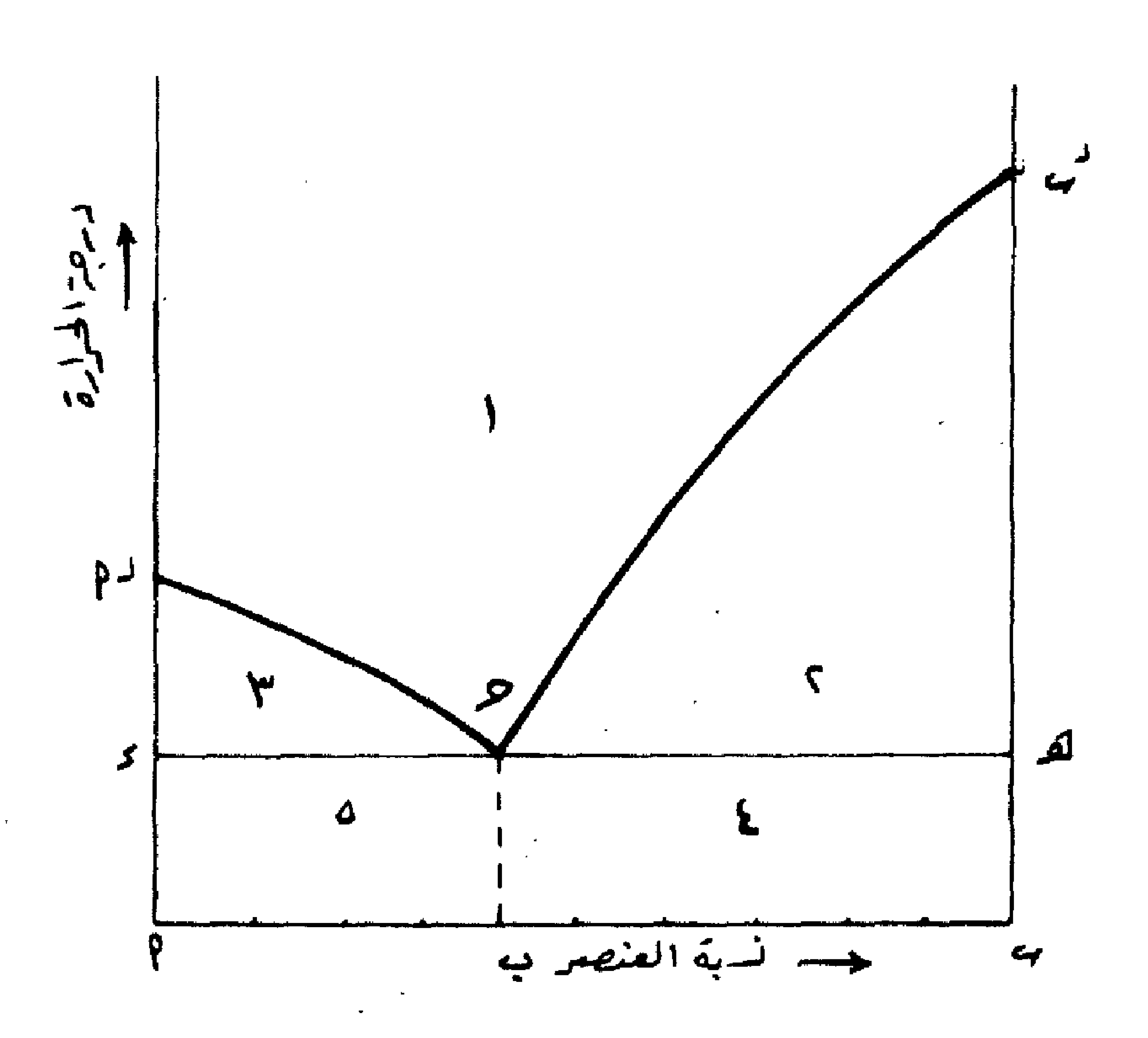
رسم منحنى الاتزان لمجموعة من المكونات تتذاوب تماما منصهرة وتكون مخلوطا ميكانيكيا بالتبريد

التي تمثلها المجموعة الثنائية من خليط ميكانيكي (غير كيميائي) من مكونيها الأصليين .

وتستعيد الفلزات التي تكون مثل هذه الأنواع من السبائك نسقها البلوري ثانية . وقد أمكن التأكد من ذلك بواسطة الفحص الإشعاعي الذي يظهر الخطوط المناظرة لكلا المكونين والمميزة لهما.

ويبين الشكل طريقة مبدئية لرسم هذا المنحنى الاتزاني بواسطة رسم منحنيات التبريد (درجة الحرارة– الزمن) ، ثم توقيع نقط الانكسار المناظرة لتركيب السبيكة ودرجة الحرارة لرسم منحنى الاتزان – ويتضح من الشكل أيضا ، أن منحنيات التبريد لكلا الفلزين عندما يكونان في حالة نقية ، يمران بفترة زمنية تثبت عندها درجة الحرارة تماما لانبعاث الحرارة الكامنة لانصهار الفلز ، بينما ينكسر الخط عند بدء التجمد في حالة السبيكة . ولكن درجة الحرارة تأخذ في الانخفاض بمعدل آخر ، إلى أن يتم التجمد كلية فينكسر الخط مرة أخرى ، نتيجة لتغير معدل التبريد .

ويبين الشكل (٥٩) الرسم الكامل لمنحنى الاتزان مع توضيح الأصناف (الأطوار) المتكونة .



شكل (٥٩) منحنى الاتزان لمجموعة من المكونين ا ، ب يتذاوبان تماما منصهرين ولا يتذاوبان في الحالة الصلبة فيكونان مخلوطا ميكانيكيا

١ – مصهور متجانس تماما
٢ – مصهور + بلورات من العنصر (ب)
٣ – مصهور + بلورات من العنصر (ا)
٤ – بلورات من (ب) + يوتكتي (ا+ب)
٥ – بلورات من (ا) + يوتكتي (ا + ب)

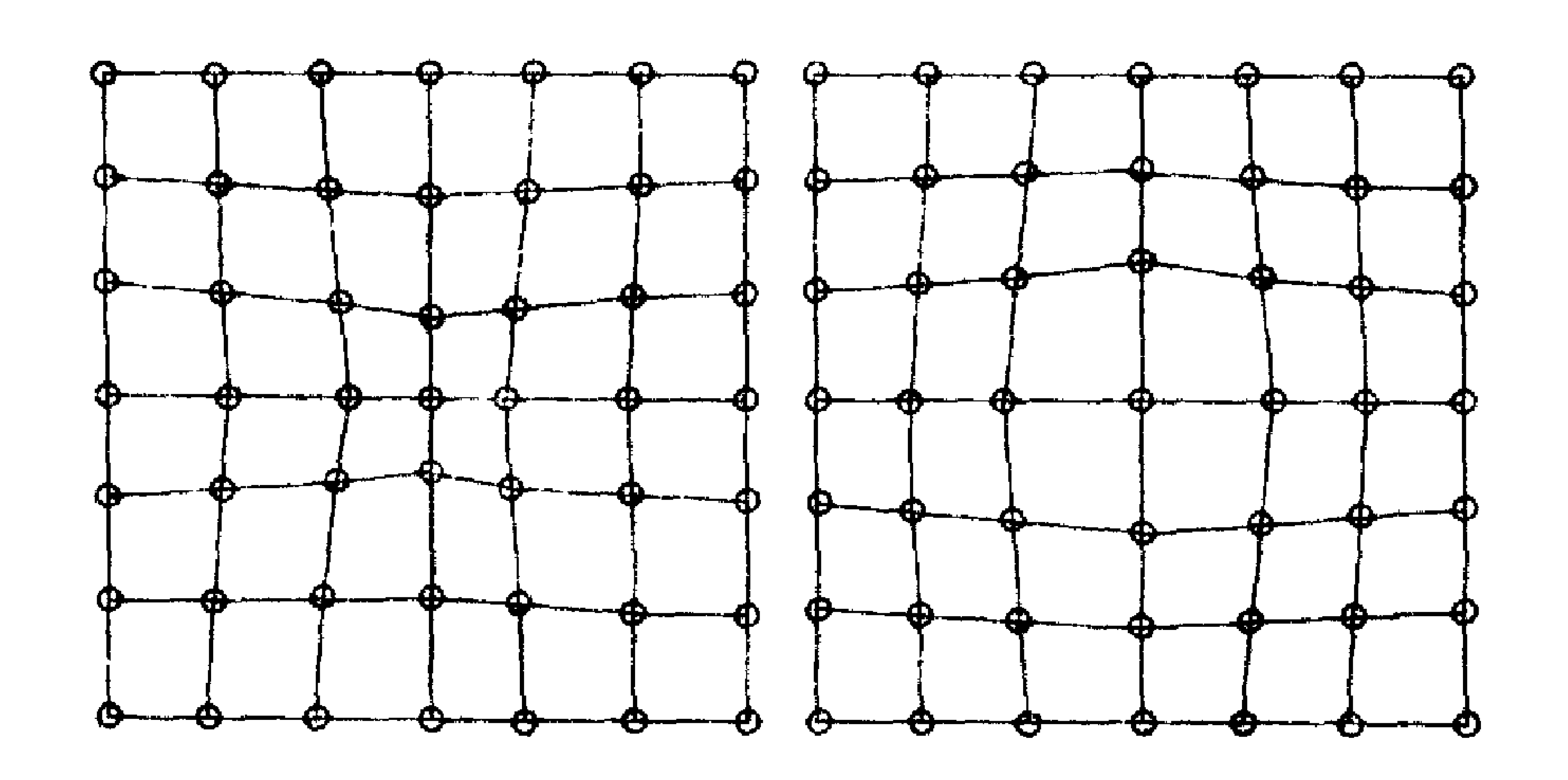
٢ – مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوباً تاماً فى كلا الحالتين المنصهرة والصلبة :

عند حدوث تذاوب غير محدود فى الحالة الصلبة ، يجب أن يكون لمكونى المجموعة الثنائية نفس الطراز من النسق البلورى ، كما يجب أن يكون حجما ذراتهما متقاربين لدرجة كبيرة . فإذا ما زاد الفرق بين حجمى ذراتهما على ١٥٪ استحال تكوينهما لمحاليل جامدة نتيجة للتشوه الحاد فى النسق البلورى للعنصر المذيب ، إذ يتم تكون المحلول الجامد بأسلوبين :

١ – الإحلال ، حيث تحل ذرات العنصر المذاب محل بعض ذرات العنصر المذيب ، كما فى الشكل (٥١) .

٢ – الالتجاء ، حيث تلجأ ذرات العنصر المذاب إلى المسافات الفاصلة بين الذرات وتكن فيها ، كما فى الشكل (٥٢) . ويمكن أن تحدث هذه الحالة إذا كانت ذرات العنصر المذاب من الصغر بحيث لا تعمل على تشويه النسق البلورى للعنصر المذيب .

وبالنسبة للفرق بين حجمى ذرتى المكونين ، فكلما كان الفرق كبيرا بحيث لا يتعدى النسبة ١٥٪ ، كان هناك تشوه واضح فى النسق البلورى للعنصر المذيب ، كما فى الشكل (٦٠) .



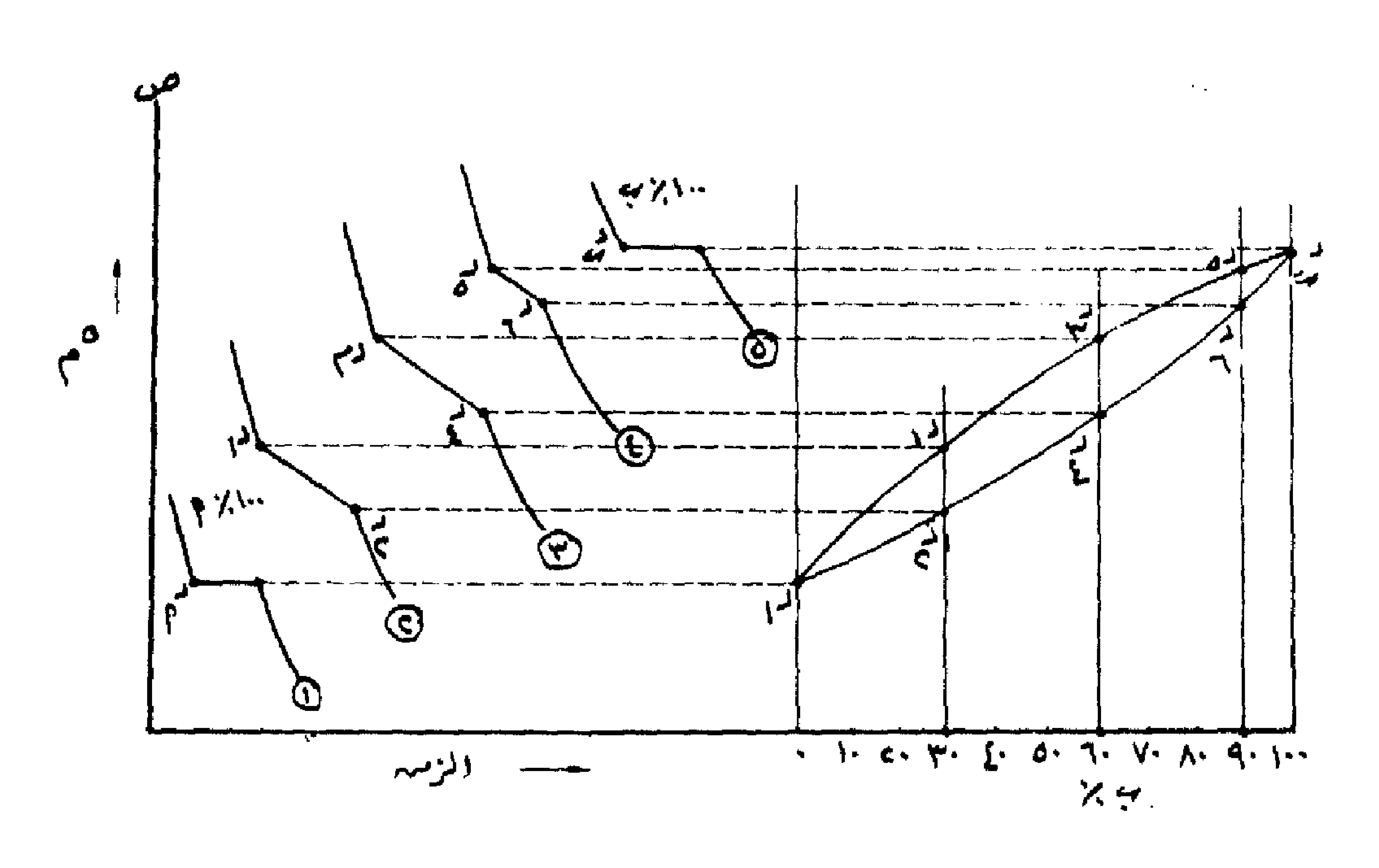
شكل (٦٠)

تشوه النسق البلورى للعنصر المذيب عند تكوين محلول جامد بطريقة الاحلال

فإذا ما زاد الفرق على ١٥٪ ، فإن تكون مركب كيميائى بنسق بلورى مختلف ، أو تكون خليط ميكانيكى من المكونين ، قد يكون أكثر احتمالا وترجيحا من وجهة نظر كيميائية تتعلق بالطاقة المطلقة لهذه المجموعة .

كما أنه من ناحية أخرى يعزز تكون المحلول الجامد تقارب نقطتى الانصهار للمكونين ، ووقوع هذين العنصرين فى موضعين متدانيين من بعضهما بعضا فى الجدول الدورى . (انظر الملحق١)

ويمثل الشكل (٦١) منحنى الاتزان النمطى لهذه المجموعة الثنائية ، وكيف يعرف مقدما شكل هذا المنحنى بفحص منحنيات التبريد .



شكل (٦١)

الجزء الأيمن : المحور الأفقى يمثل النسبة المئوية لعنصرى المجموعة . المحور الرأسى يمثل درجات الحرارة

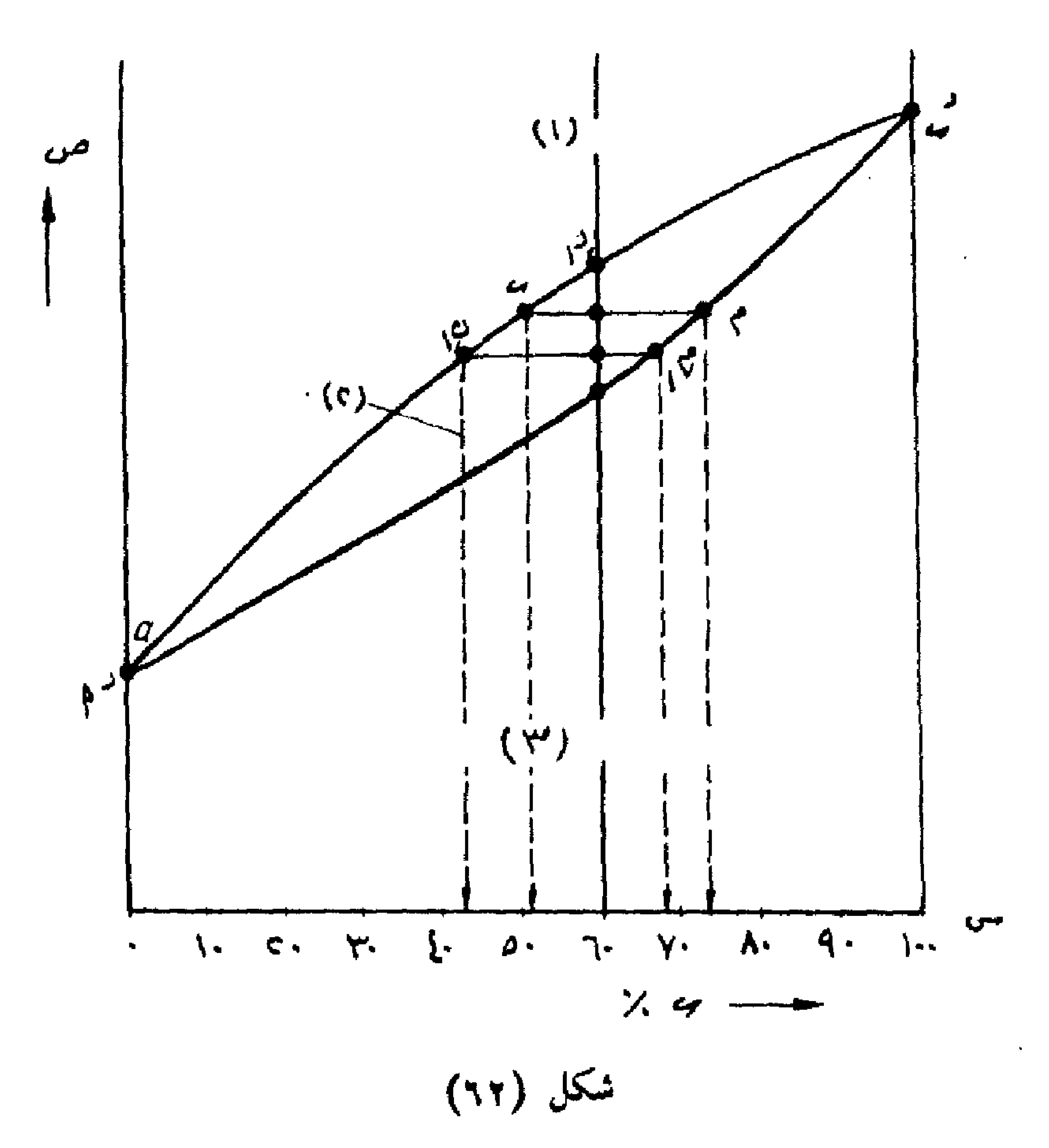
الجزء الأيسر : منحنيات التبريد للمجموعة الثنائية عند درجات تركيز مختلفة للعنصرين مع بعضهما بعضا :

١ – منحنى التبريد للعنصر أ النقى (١٠٠٪أ)　　٢– منحنى التبريد للسبيكة (٧٠٪أ، ٣٠٪ ب)
٣ – منحنى التبريد السبيكة (٤٠٪أ، ٦٠٪ ب)　　٤– منحنى التبريد للسبيكة (١٠٪أ، ٩٠٪ ب)
٥ – منحنى التبريد للعنصر ب النقى (١٠٠٪ب)

ويبين الشكل (٦٢) رسما كاملا لمنحنى الاتزان مبينا عليه جميع الأطوار المتكونة .

٣ – مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوباً تاماً فى حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما فى الحالة الصلبة محدود ويقل بإنخفاض درجة الحرارة :

نتناول هذا القسم بالتفصيل لأن عددا لا بأس به من سبائك الألومنيوم ينتمى بطريقة أو بأخرى لمثل هذا القسم .



شكل (٦٢)

منحنى الاتزان لمجموعة ثنائية نمطية يتذاوب مكوناها تماما فى كلا الحالتين المنصهرة والصلبة :

١ – صنف (طور) منصهر

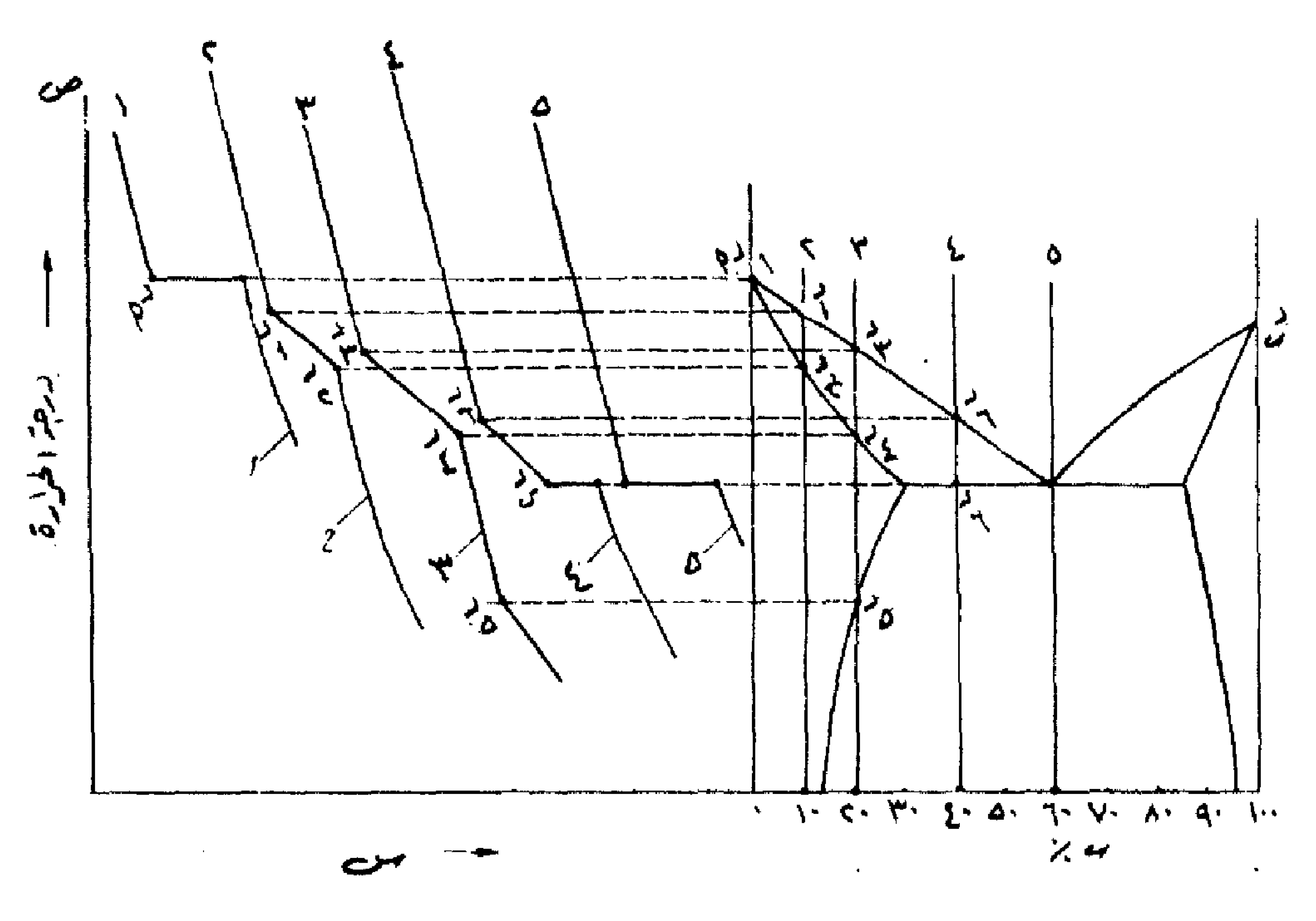
٢ – صنف (طور) منصهر+ بلورات من المحلول الجامد (ا + ب)

٣ – محلول جامد (ا + ب) .

يوضح الشكل (٦٣) كيفية رسم هذا النوع من منحنيات الاتزان ، بينما يبين الشكل (٦٤) الرسم الكامل لمنحنى الاتزان مبينا جميع الأطوار المتكونة . ويمثل الخطان ا هـ ، ب هـ خطى السيولة للمصهور .

تبدأ بلورات المحلول الجامد للفلز ب مذابا فى الفلز أ (الصنف α) فى الترسب من السبيكة المنصهرة خلال الخط ا هـ ، ويترسب المحلول الجامد للفلز أ مذابا فى الفلز ب (الصنف β) خلال الخط ب هـ .

ويمثل الخطان ا د ، ب جـ خطى الجمود . والنقطة د تناظر أقصى تذاوب للفلز ب فى الفلز ا عند درجة الحرارة اليوتكتية ($د_{هـ}$) ، ونقطة جـ هى أقصى تذاوب للفلز ا فى الفلز ب عند نفس درجة الحرارة .



شكل (٦٣)

من منحنيات التبريد يتم تخليق منحنى الاتزان لمجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تماما فى حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما فى الحالة الصلبة محدود ، ويقل بانخفاض درجة الحرارة :

المحور الأفقى س يمثل الزمن

المحور الرأسى ص يمثل درجة الحرارة المئوية

١ — منحنى التبريد للعنصر النقى (ا)

٢ — منحنى التبريد للسبيكة (٩٠٪ ا ، ١٠٪ ب)

٣ منحنى التبريد للسبيكة (٨٠٪ ا ، ٢٠٪ ب)

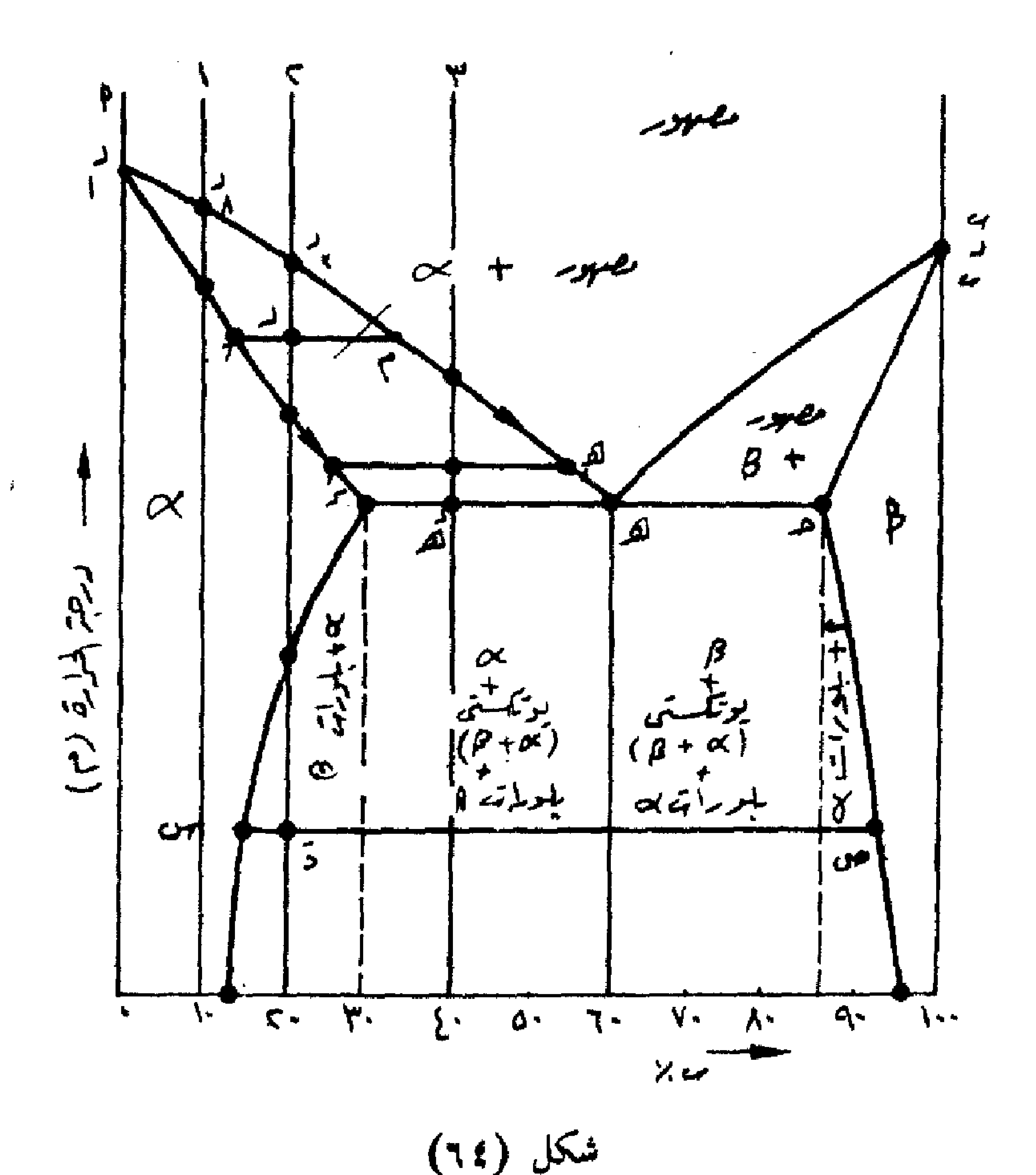
٤ — منحنى التبريد للسبيكة (٦٠٪ ا ، ٤٠٪ ب)

٥ — منحنى التبريد للسبيكة (٤٠٪ ا ، ٦٠٪ ب)

$د_ا$ نقطة انصهار العنصر ا

$د_ب$ نقطة انصهار العنصر ب

$د_ى$ نقطة اليوتكتى



شكل (٦٤)

منحنى الاتزان النهائى للمجموعة الثنائية السابقة (أنظر شكل ٦٣)

بالمثل فإن النقطتين (و ، ى) تمثلان أقصى تذاوب للفلزين :

ب فى أ ، أ فى ب على الترتيب عند درجة الحرارة العادية (حرارة الغرفة) ويبين الخطان د و ، جـ ى تغير تذاوب الفلز ب فى الفلز أ ، والفلز أ فى الفلز ب ابتداء من درجة حرارة الغرفة إلى درجة الحرارة اليوتكتية .

وبتطبيق قاعدة الصنف على هذه المجموعة عند النقطة اليوتكتية هـ :

عدد المكونات (م) = ٢

عدد الأصناف (ص) = ٣ (α ، β ، مصهور)

إذن :

د = م + ١ − ص

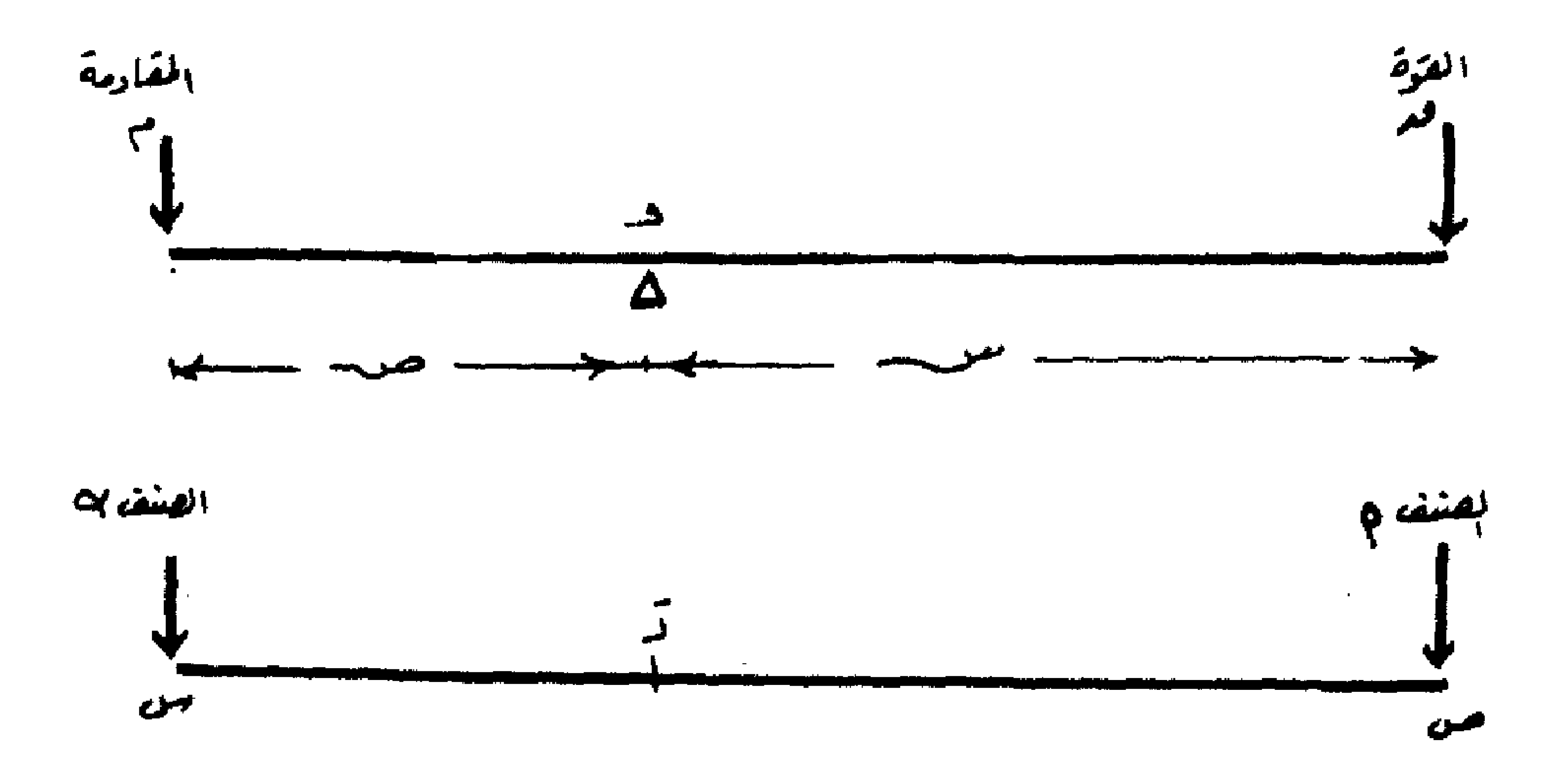
= ٢ + ١ − ٣ = صفر

مما يعنى انعدام درجات الحرارة عند هذه النقطة ، أى أن هذا الاتزان هو اتزان وحيد غير متنوع .

والآن لنعتبر مراحل تجمد السبائك ١ ، ٢ ، ٣ فى الشكل (٦٤) . تبدأ السبيكة (١) فى التجمد عند درجة الحرارة (د١) وتتجمد كلية عند (د٢) . وتحتوى السبيكة المتجمدة فقط على بلورات من المحلول الجامد (α) ، الذى لا يتعرض لتغيرات صنفية (طورية) بانخفاض درجة الحرارة حتى الحرارة المعتادة (درجة حرارة الغرفة) . وتبدأ السبيكة (٢) فى التجمد عند درجة الحرارة (د٣) وتنتهى عند (د٤) . وخلال عملية التجمد ، يتغير التركيب الكيميائى للصنف المنصهر تبعا لخط السيولة ، ومن ثم فإن الصنف المتجمد يتغير باستمرار تبعا لخط الجمود. ولذلك فإنه عند أية درجة حرارة (د) ، فإن النقطتين (م ، ن) تحددان التركيب الكيميائى للمنصهر وبلورات المحلول الجامد على الترتيب . وعند تجمد السبيكة كلية فإنها تتكون فقط من بلورات من المحلول الجامد (α) . وباستمرار التبريد حتى (د٥) يصبح المحلول الجامد مفرطا فى التشبع . وعليه ، فإنه بانخفاض درجة الحرارة عن (د٥) ، يتحلل المحلول الجامد (β) وتنفصل عنه الكمية الفائضة من المكون ب على هيئة بلورات من الصنف (β) الذى يزداد مقدار وجوده كلما انخفضت درجة الحرارة . وإذن فإنه تحت درجة د٥ ، تحتوى السبيكة على الصنفين α ، β (كما فى الشكل) ، ويتغير التركيب الكيميائى لهذين الصنفين خلال الخطين د و ، جـ ى على الترتيب . فمثلا عند درجة الحرارة د فإن التركيب الكيميائى للصنف α يكون مثلا بالنقطة س ، ويكون التركيب الكيميائى للصنف β مثلا بالنقطة ص . ويمكن تعيين النسبة بين كميتهما وزنا كما يلى :

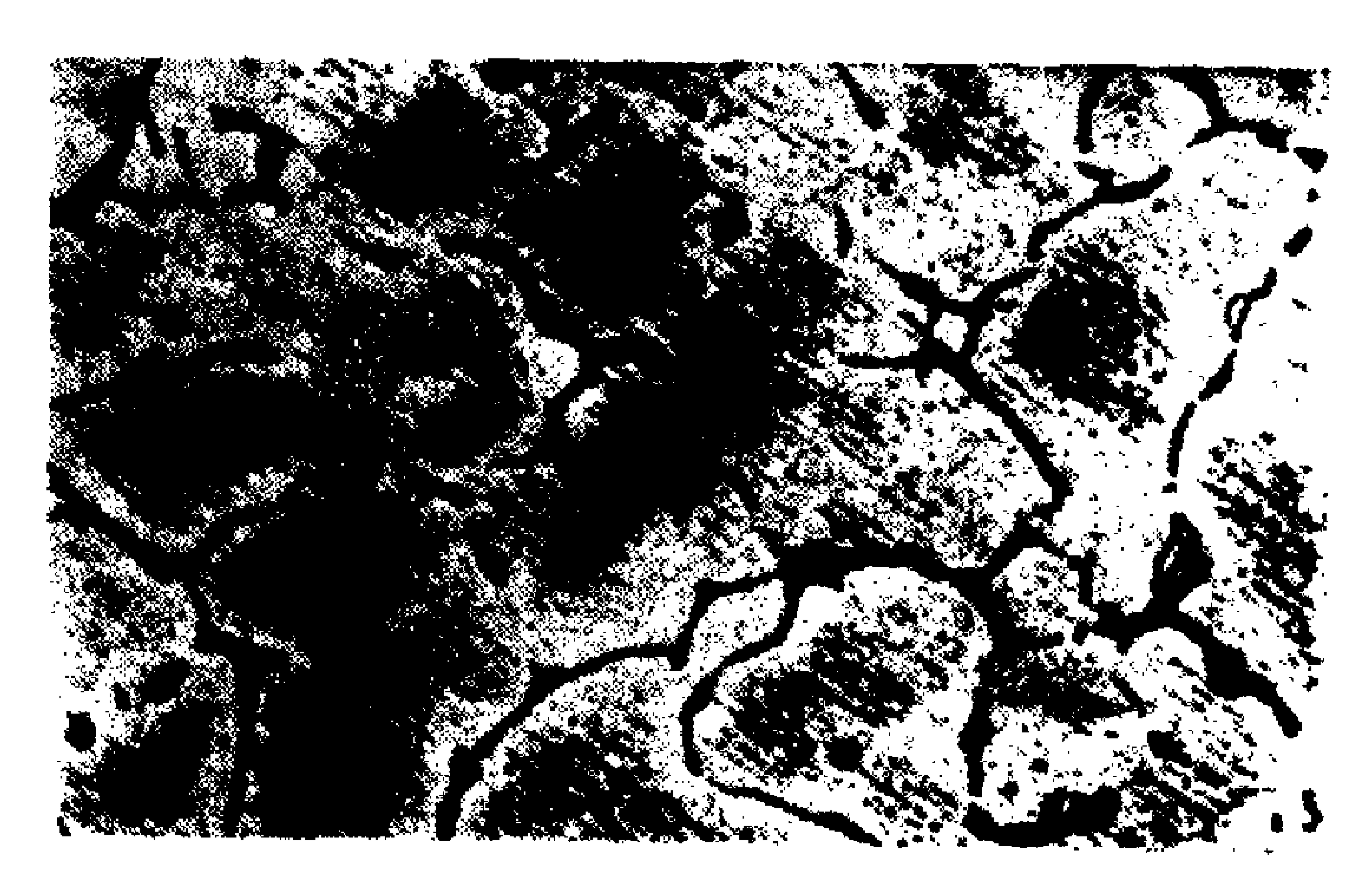
$$\frac{\text{كمية الصنف } \alpha}{\text{كمية الصنف } \beta} = \frac{\text{د َص}}{\text{د َس}}$$

وهذه العلاقة فى الميتالورجيا مشابهة لعلاقة القوة وذراعها فى الميكانيكا (العتلة) إذ أن القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها (كما فى الشكل ٦٥) .



شكل (٦٥) تشبيه توزيع كميتى الصنفين α ، β بالعلاقة بين القوة والمقاومة وذراعيهما .

وعلى أساس التغيرات فى كل من الطاقة ودرجة التركيز ، فإن نوى الصنف β تتكون أولا على الحدود الفاصلة بين حبيبات الصنف الأصلى ∝ . ويبين الشكل (٦٦) ما يحدث فى هذه الحالة لسبيكة الألومنيوم والنحاس . ولكن التبريد السريع (التسقية) لهذه السبيكة يعوق تكون بلورات الصنف β ، وبذلك نحصل لحظيا على سبيكة متجانسة تماما بلغت حد التبريد المفرط عند درجات حرارة منخفضة . مثل هذا المحلول الجامد الذى تعرض للتبريد السريع يكون مفرطا فى التشبع بالنسبة للعنصر ب ، ومن ثم فهو غير مستقر من الناحية الميتالورجية فيتعرض للتفكك بمجرد تسخينه ، بل وعند درجة حرارة الغرفة دون تسخين لبعض السبائك . ويزداد معدل التفكك بارتفاع درجة الحرارة التى يصل إليها بالتسخين . هذا الانفصال للصنف الزائد نتيجة لتفكك محلول جامد مفرط التبريد ، يكون مصحوبا بتغيرات كثيرة فى خواص السبائك . ومن الخصائص المميزة لعملية التسقية زيادة الصلادة ، وتسمى الأصلاد بالإزمان ، أو الإصلاد بالترسيب ، أو التعتيق .



شكل (٦٦)

انفصال الصنف الفائض من سبيكة الألومنيوم والنحاس ، وترسبه على الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، عندما تتاح الفرصة لهذا الصنف أن يتكون . ويمكن تلافى حدوث هذا الترسب بالتسقية السريعة .

وتبدأ السبيكة (٣) فى التجمد عند درجة الحرارة د٣ وتتجمد كلية عند د٥ . وخلال عملية التجمد ، يتغير تركيب الجزء المنصهر من السبيكة بصفة مستمرة خلال خط السيولة ، مقتربا من التركيب اليوتكتى (النقطة هـ) ، كما يتغير تركيب الصنف الجامد خلال خط الجمود متحركا صوب أقصى تذاوب له (النقطة د) . وعند النقطة د٥ . يبلغ الصنف المنصهر التركيب اليوتكتى . وعندئذ تتجمد السبيكة تماما . ومن ثم يترسب المحلولان الجامدان ∝ ، β مكونين حبيبات يوتكتية .

وتتكون السبيكة المتجمدة من بلورات ابتدائية مشبعة تماما من المحلول الجامد ترسبت خلال درجتي الحرارة، د١ ، د هـ ، ومخلوط يوتكتي تكون عند درجةالحرارة د هـ ، ويشتمل على المحلولين الجامدين α ، β ، (تركيبهما الكيميائى يمثل بالنقطتين د ، جـ على الترتيب) .

وبانخفاض درجة الحرارة تتفكك البلورات α الابتدائية منها أو المحتواة فى الخليط اليوتكتى ، نتيجة لانخفاض إذابتها للعنصر ب . ونتيجة لذلك تترسب بلورات من المحلول الجامد β من البلورات α . وباستمرار انخفاض درجة الحرارة يتغير التركيب الكيميائى الصنف α وبلورات β سواء الفائض منها أو الموجودة أصلا فى المخلوط اليوتكتى، خلال الخطين د و ، جـ ى على الترتيب . وفى النهاية عندما تصل السبيكة إلى درجة حرارة الغرفة ، فإن التركيب الكيميائى للصنفين α ، β يمكن تحديدهما بالنقطتين و ، ى .

وبديهى أن سبيكة تركيبها الكيميائى هو التركيب اليوتكتى نفسه ممثلا بالنقطة هـ (٦٠٪ من العنصر ب) ، سوف تحتوى بعد تجمدها على حبيبات من الخليط اليوتكتى (α+β) .

ولأهمية مثل هذا المنحنى من منحنيات الاتزان الكيميائى ، تجدر بنا الإشارة إلى التغيرات التى تطرأ على السبائك التى لها نفس مسلك هذا المنحنى .

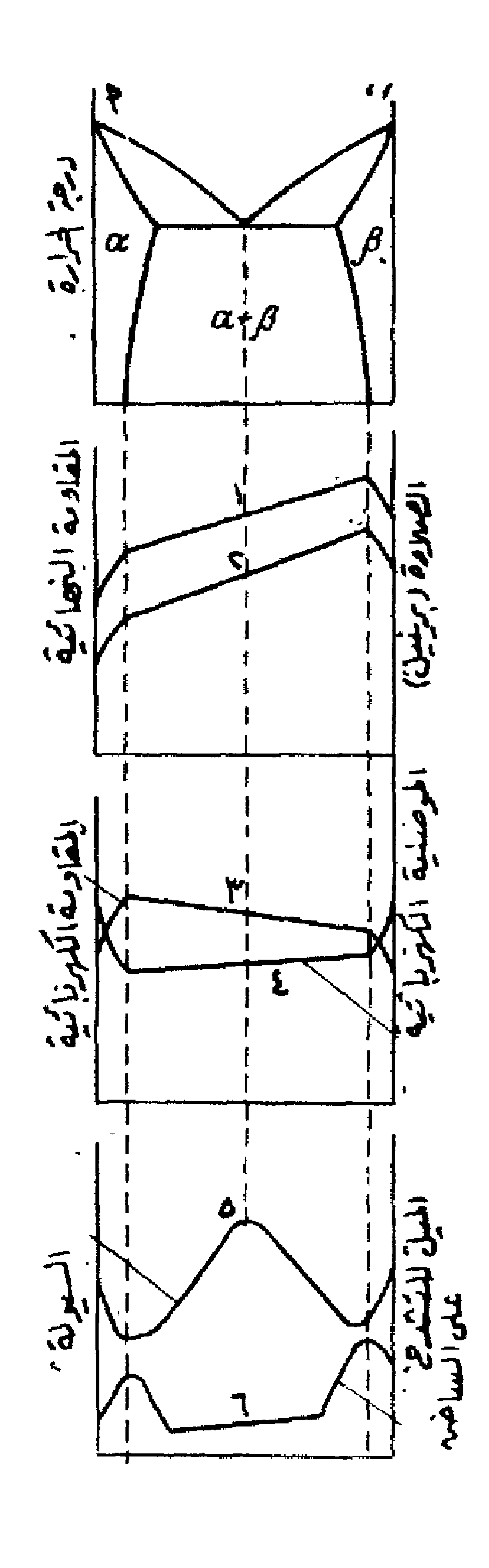
تتغير خواص هذا النوع من السبائك خلال منحنى فى منطقة المحاليل الجامدة المتجانسة ، ثم خلال خط مستقيم فى المناطق التى يوجد فيها خليط من صنفين ، انظر الشكل (٦٧) .

وفى الحالة الثانية ، فإن نقطتى النهايتين للخط المستقيم تناظران خواص المحاليل الجامدة المشبعة تماما .

ويلاحظ أن الخواص فى المناطق التى تحتوى على صنفين (α ، β) تعتمد على درجة انتشار الخليط . وبالطبع لا تتطابق خواص المخاليط المنتشرة انتشارا تاما مع هذا الخط المستقيم .

ولقد أمكن بمواصلة البحث ، التوصل إلى علاقة محددة بين تركيب سبيكة وخواص سبا كتها (انظر الشكل ٦٧) . وكلما كانت درجة حرارة التجمد أكبر ، كلما قلت سيولة السبيكة ، كما أنه كلما كانت المسافة بين خطى السيولة والجمود أكبر (فى اتجاه أفقى) ، كلما كان هناك نزوع أكبر إلى تكون انعزالية تفرعية فى داخل التركيب البنيانى للسبيكة . كما وجد عمليا أن السيولة تزداد زيادة ملحوظة ، فى حين تقل الفرصة لتكون شدوخ على الساخن فى السبائك التى تكون مخاليط يوتكتية عند تجمدها .

والسبائك الواقعة فى المناطق التى توجد بها محاليل جامدة ، تكون لها مطيلية عالية ، ومن ثم فإنها تكون طيعة ، ولها قابلية ممتازة للتشكيل بالأساليب المختلفة كالدرفلة والطرق والكبس



شكل (٦٧)

العلاقة بين الخواص وتكوين مجموعة ثنائية لها ذائبية محدودة فى الحالة الصلبة :

١ – المقاومة النهائية كجم / مم^{٢}

٢ – الصلادة (عدد برينيل)

٣ – المقاومة الكهربائية

٤ – الموصلية الكهربائية

٥ – السيولة

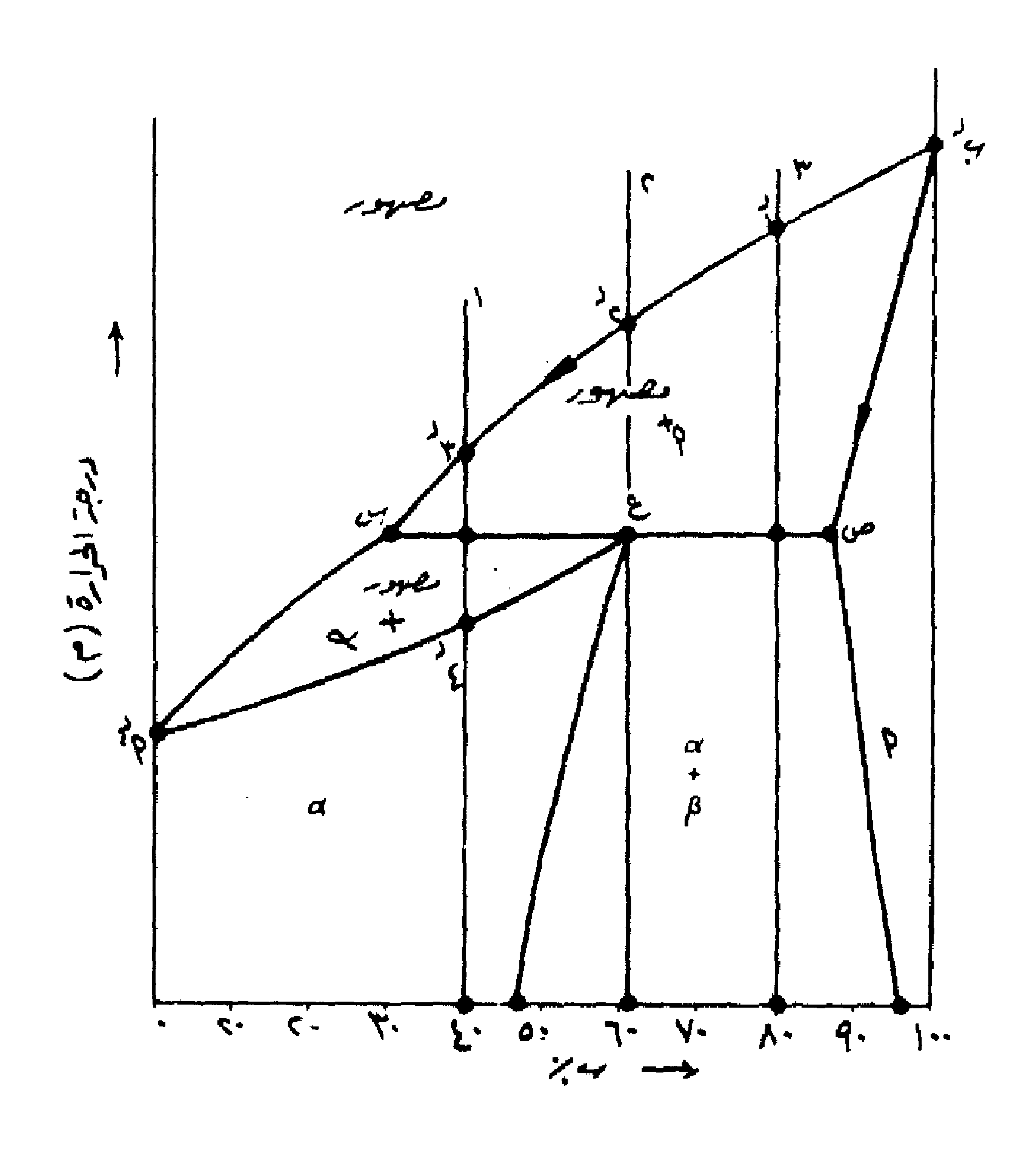
٦ – النزعة لتكوين شدوخ على الساخن

وغيرها . أما التشوه اللدن للسبائك التى تحتوى على مخلوط من أصناف (أطوار) متعددة فيكون أكثر صعوبة ، وتقل قابلية مثل هذه السبائك للتشكيل بطرق الضغط ، فهى لا تستجيب لها بسهولة .

وعند وجود تركيب يوتكتى فى بنيان معدنى ، فإن مطيليته تقل إلى أقصى حد لها . ونتيجة لذلك فإن أقصى تذاوب عند درجة الحرارة اليوتكتية هو الحد الأعلى للتركيز للسبائك التى لها قابلية للتشكيل .

٤ – مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوباً تاماً فى حالة الانصهار ، ولكن تذاوبهما محدود فى الحالة الصلبة (سبائك لها تحول بريتكتى) :

يبين الشكل (٦٨) منحنى الاتزان لهذه السبيكة الثنائية . ويختلف المنحنى من هذا النوع عن النوع السابق (الشكل ٦٧) فى أن بلورات المحلول الجامد β التى تترسب فى أول الأمر عند بدء التجمد لا تلبث أن تتفاعل ثانية مع السبيكة المنصهرة بتركيب كيميائى محدد لتكوين بلورات جديدة من المحلول الجامد ∝ . ويحدث هذا التفاعل ، أو هذا التحول ، عند درجة حرارة ثابتة (مثله كمثل التحول اليوتكتى) ويعرف فى هذه الحالة بالتحول البريتكتى .



شكل (٦٨) منحنى الاتزان لسبيكة تتعرض لتحول بريتكتى :

$$\text{مصهور}_{\text{س}} + \beta_{\text{ص}} \longrightarrow \alpha_{\text{ع}}$$

٥ – مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوباً تاماً فى حالة الانصهار ، و يكونان عند تجمدهما مركبات كيميائية :

ينشأ فى كثير من المجموعات الفلزية ، عند تسابكها ، مركب أو عدة مركبات كيميائية . وتنقسم المركبات الكيميائية إلى أنواع ثلاثة رئيسية هى :

* مركبات تكافؤية .
* مركبات إلكترونية .
* مركبات التجائية .

* **المركبات التكافؤية :** تتميز هذه المركبات بصفة مميزة ، هى عدم تذاوب مكوناتها تذاوبا تاما من الناحية العملية . ومن النادر أن تتكون هذه المركبات فى السبائك الفلزية . وفى أغلب الأحوال تتحد المكونات فى مركبات كيميائية لا تخضع لقواعد التكافؤ البسيطة .

* **المركبات الإلكترونية:** هذه المركبات لها أهمية كبيرة فى المجموعات الفلزية . وللمركبات من هذا النوع نسبة محددة لعدد إلكترونات التكافؤ إلى عدد الذرات ، أى تكون لها نسبة إلكترونية محددة . وعليه . فهناك سلسلة من المركبات لها جميعا نسبة إلكترونية محددة هى ٣ : ٢ ، وسلسلة أخرى لها النسبة ٢١ : ١٣ ، وثالثة لها النسبة ٧ : ٤ . وكل نسبة من هذه النسب المحددة تناظر نمطا محددا من النسق البلورى . فكل المركبات التى لها النسبة الإلكترونية ٣ : ٢ يكون نسقها البلورى من نوع متمركز البلورة ومن هذه المركبات : نح٣ لو (نحاس – ألومنيوم) ، نك لو (نيكل – ألومنيوم) ، ح لو (حديد – ألومنيوم) وغيرها . وتعرف هذه المركبات بالصنف β .

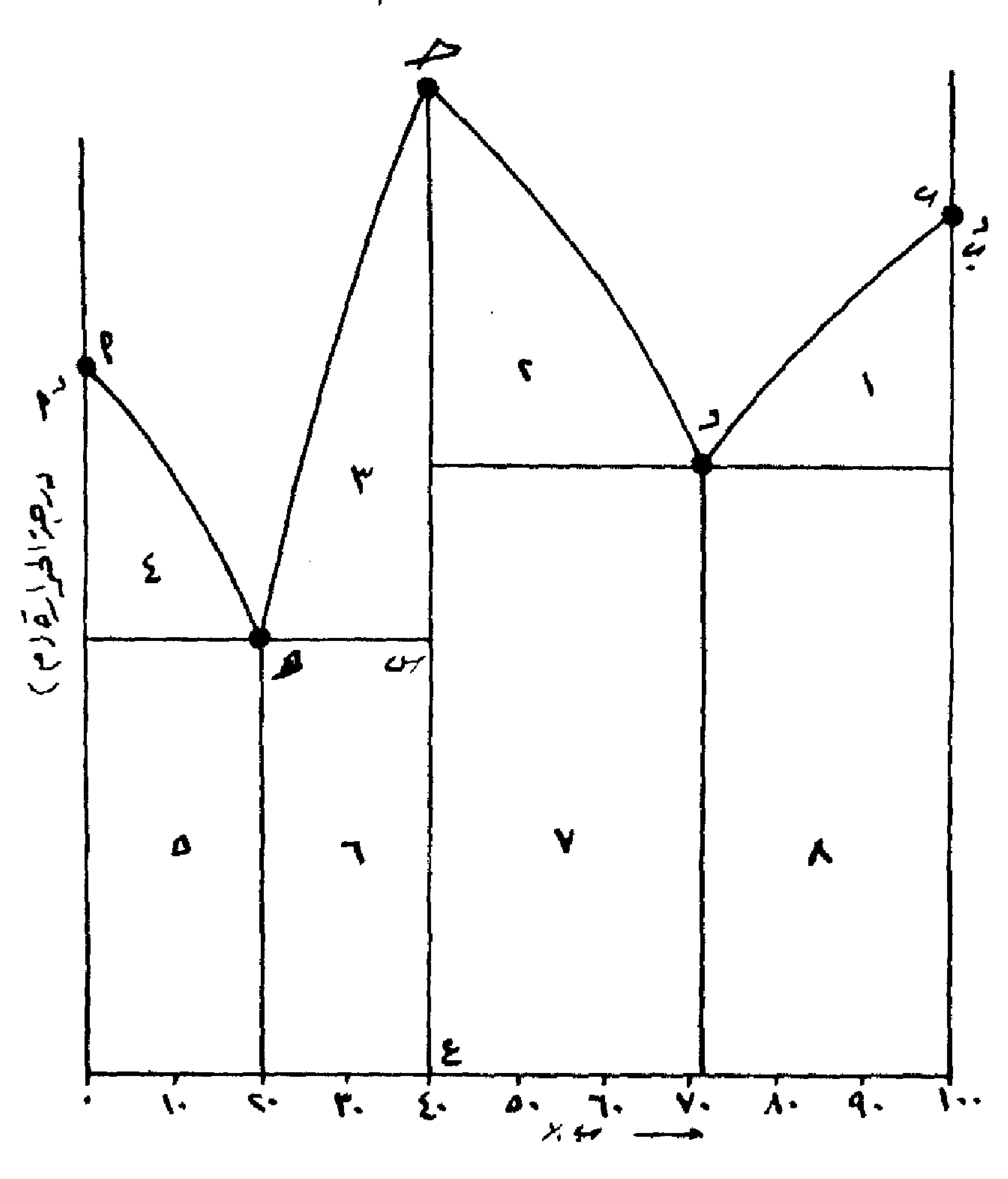
وبعض المركبات مثل المركب نح٩ لو٤ (نحاس – ألومنيوم) وغيره لها النسبة الإلكترونية ٢١ : ١٣ ، ونسقها البلورى على هيئة مكعب معقد التكوين، وتعرف هذه المركبات بالصنف α وهكذا .

* **المركبات الالتجائية :** يميل عدد كبير من الفلزات إلى تكوين هذا النوع من المركبات الكيميائية ، على شكل كربيدات ونتريدات وغيرها . باتحادها مع العناصر : الكربون ، والنتروجين ، والهيدروجين ، والبورون . ولهذه العناصر ذرات صغيرة الحجم يمكنها الالتجاء إلى المسافات البينية بين ذرات الفلزات المذيبة لها . وتنتظم ذرات المركبات الالتجائية غالبا فى نسق بلورى مكعبى أو سداسى الشكل حيث تدلف ذرات العنصر المذاب خلاله لتشغل فجوات محددة أو مواضع خالية .

وتختلف المركبات الالتجائية عن المحاليل الجامدة الالتجائية ، إذ يختلف نسقها البلورى عن النسق البلورى للفلز الذىتتكون منه .

٥ (ا) مجموعة ثنائية يتذاوب مكوناها تذاوباً تاماً فى حالة الانصهار ، ويؤلفان مركبات كيميائية ثابتة بعد التجمد :

يبين الشكل (٦٩) منحنى التوازن لمجموعة ثنائية من هذا القسم . ويوضح الرسم البيانى أن الفلزين أ ، ب يكونان مركبا كيميائيا $أ_{ن}$ $ب_{م}$ له نقطة انصهار ثابتة ، هى النقطة جـ .



شكل (٦٩) منحنى الإتزان لمجموعة ثنائية يتكون من خلالهـا مركب كيميائى ثابت :
الخط جـ س ع (٤٠٪ ب) يمثل المركب الكيميائى الثابت $ا_{ن}$ $ب_{م}$

١ – مصهور + بلورات من ب ٢– مصهور + $ا_{ن}$ $ب_{م}$

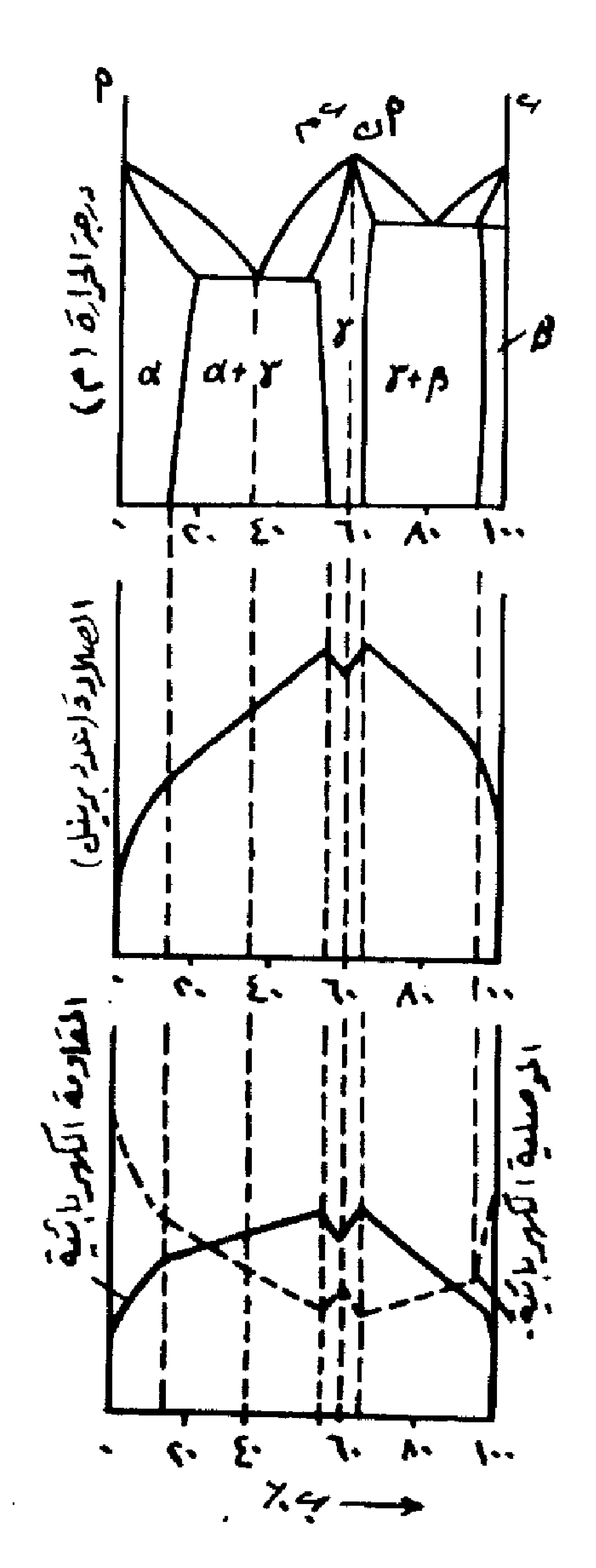
٣ – مصهور + $ا_{ن}$ $ب_{م}$ ٤ – مصهور + بلورات من ا

٥ – بلورات من ا + يوتكتى (ا + $ا_{ن}$ $ب_{م}$) ٦ – $ا_{ن}$ $ب_{م}$ + يوتكتى (ا + $ا_{ن}$ $ب_{م}$)

٧ – $ا_{ن}$ $ب_{م}$ + يوتكتى (ب + $ا_{ن}$ $ب_{م}$) ٨ – بلورات من ب + يوتكتى (ب + $ا_{ن}$ $ب_{م}$)

وبالفحص المجهرى ، يلاحظ وجود مركب كيميائى كحبيبات متعددة السطوح ، ومنفصلة تماما كما فى حالة الفلز النقى .

ووجود مثل هذا المركب الكيميائى فى الشكل ، يكون بمثابة إحداثى رأسى يناظر التركيب الكيميائى لهذه السبيكة ، ويقسم الشكل إلى جزءين ، يمكن اعتبار كل منهما منحنى اتزان مستقل ، الأول يشمل العنصر أ والمركب أ$_{ن}$ ب$_{م}$ ، والآخر يشمل الفلز ب والمركب أ$_{ن}$ ب$_{م}$. ويتصلان معاً خلال المركب الكيميائى ، أ$_{ن}$ ب$_{م}$ ويبين الشكل (٧٠) العلاقة بين خواص السبائك التى من هذا النوع وبين تركيبها الكيميائى . ومن السمات المميزة لهذه المركبات الكيميائية صلادتها الزائدة . ومقاومتها العالية للكهرباء ، وقصافتها الكبيرة ، ولذلك فهى غير طيعة ، ولا تستجيب للضغط والكبس ، ولا تناسب أعمال التشوه اللدن .



شكل (٧٠)

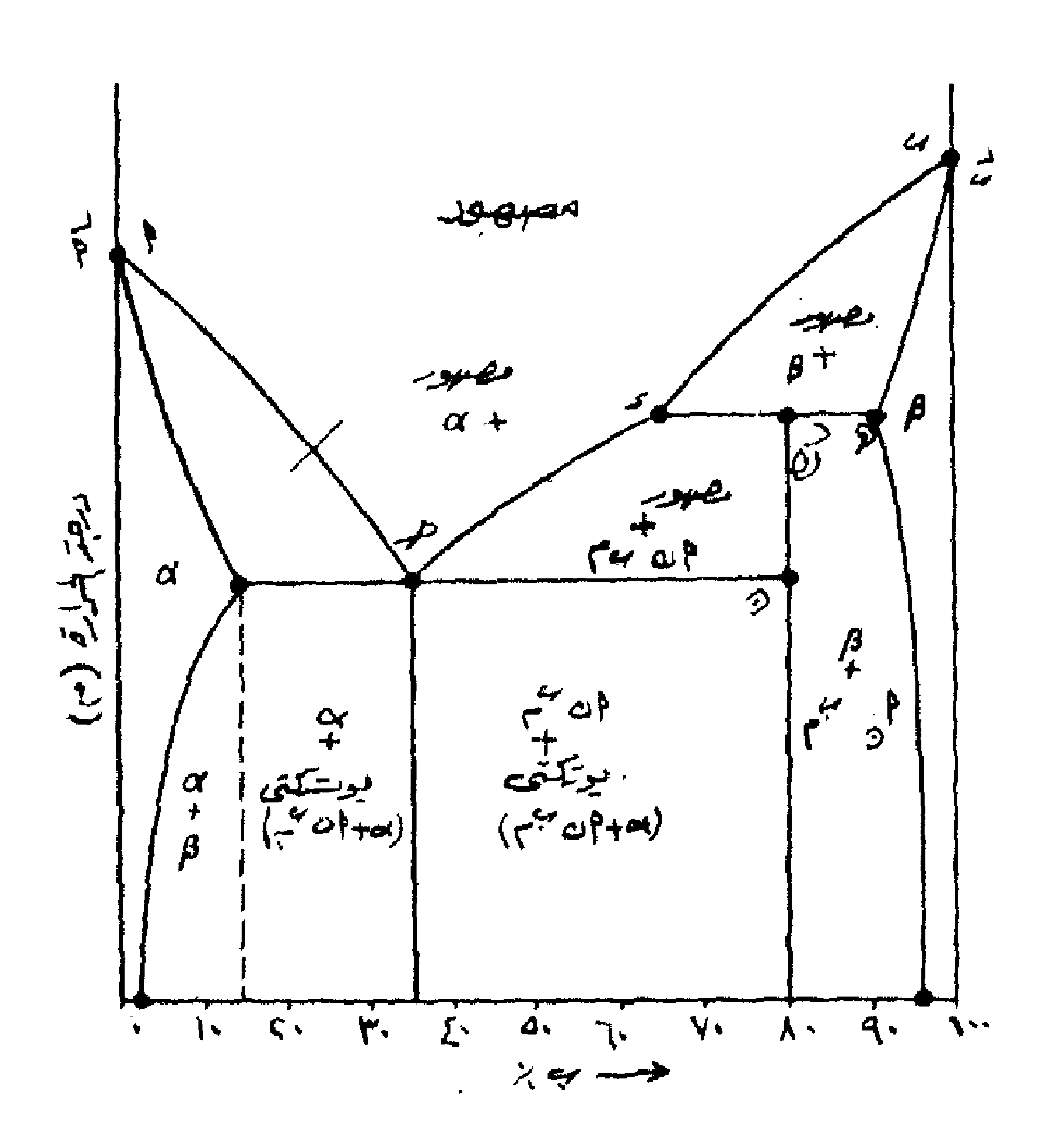
العلاقة بين الخواص والتكوين لمجموعة ثنائية يتكون خلالها مركب كيميائى ثابت .

٥ (ب) مجموعة ثنائية يؤلف مكوناها بالتجمد مركباً كيميائياً غير ثابت ، ويتحلل بإعادة التسخين قبل انصهاره خلال تفاعل بريتكتى مكوناً محلولا جامداً وصنفاً منصهراً :

يوضح الشكل (٧١) الرسم البيانى لمنحنى الاتزان لهذه المجموعة . ويقع المركب الكيميائى أن بم على الإحداثى الرأسى الذى يناظر ٨٠٪ من العنصر ب . ويتكون هذا المركب عند درجة الحرارة دن نتيجة لتحول بريتكتى بين الصنف المنصهر الذى يناظر تركيبه الكيميائى النقطة د وبين المحلول الجامد β ذى التركيز الأقصى الذى تمثله النقطة هـ . ويمكن تمثيل هذا التفاعل بالمعادلة التوضيحية التالية :

مصهور د + β هـ ⟵ أن بم

مثل هذا المركب الكيميائى يتكون فقط فى السبائك التى لها تركيبها الكيميائى المحدد دون غيره .

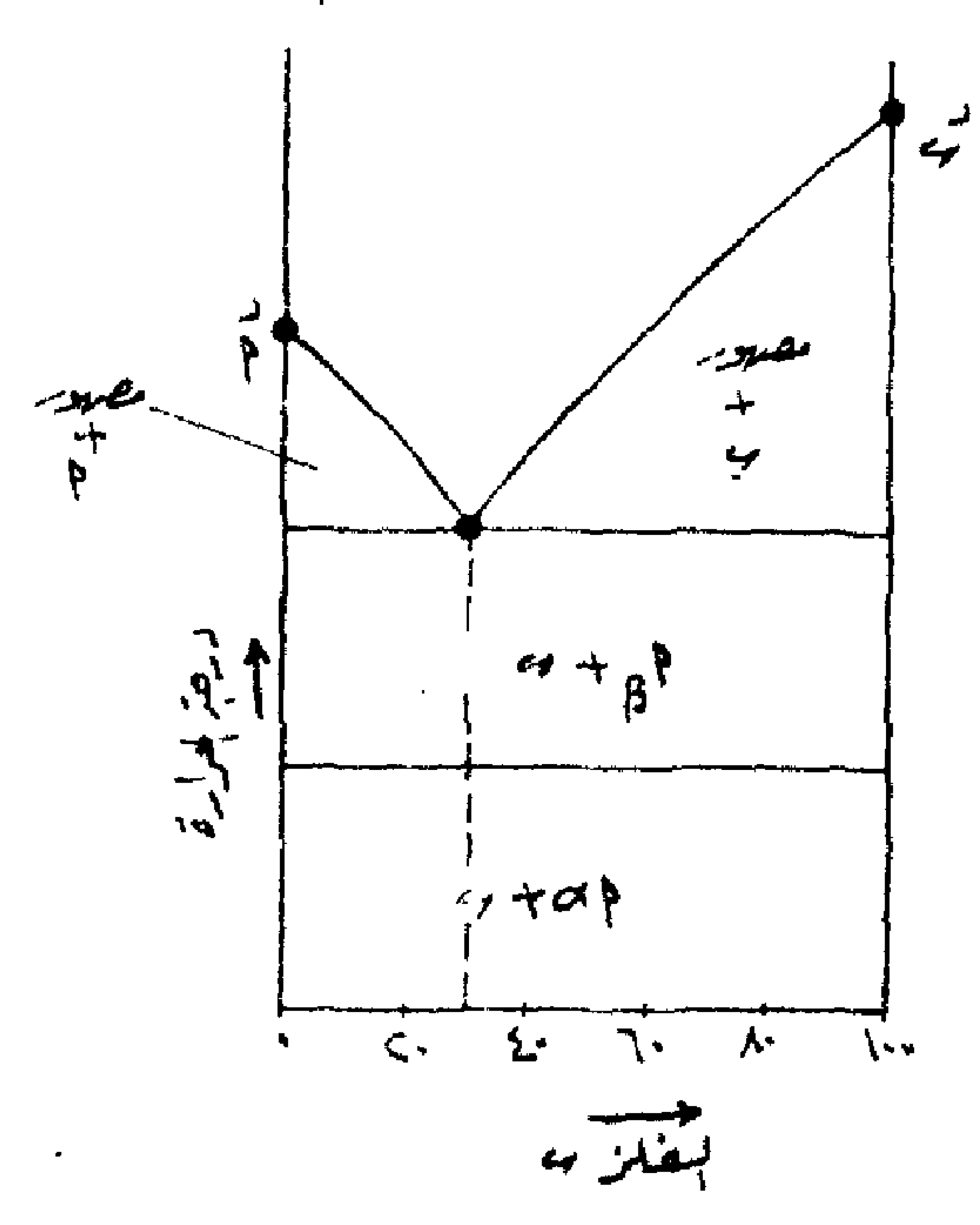


شكل (٧١) منحنى الإتزان لمجموعة يتكون من خلالها مركب كيميائى غير ثابت

٦ – مجموعة ثنائية يتعرض مكوناها لتحولات تآصلية :

تحدث التحولات الصنفية فى الحالة الصلبة فى المجموعات التى يتعرض أحد مكونيها ، أو مكوناها معا ، إلى تحولات تآصلية .

ويبين الشكل (٧٢) منحنى الاتزان لمثل هذه الحالة ، عندما يتجمد مكونا المجموعة كفلزين نقيين ، ولكن يتعرض المكون ا بانخفاض درجة الحرارة إلى شكلين تآصليين . وهذا الشكل يمثل أبسط أنواع هذا القسم ، فهناك ما هو أكثر تعقيدا منه .



شكل (٧٢)
منحنى الاتزان لمجموعة ثنائية لأحد مكونيها صورتان متآصلتان تظهران بالتبريد

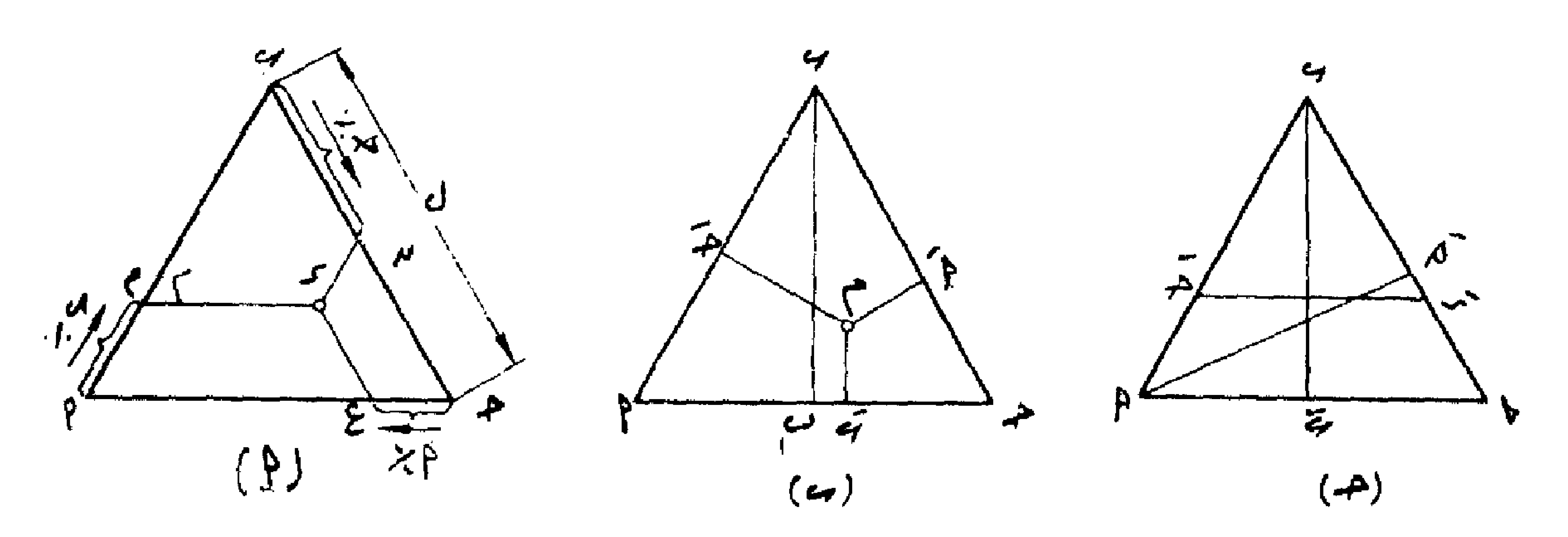
منحنيات الاتزان لمجموعة ثلاثية :

لما كانت السبائك التى تستخدم على نطاق واسع فى الأغراض الهندسية والعملية ، تتألف من ثلاثة عناصر فأكثر ، فإنه من الضرورى دراسة منحنيات الاتزان لمجموعات تتعدد مكوناتها . مثل هذه المنحنيات تتيح وسيلة ميسرة للتعرف على التركيبات الكيميائية للسبيكة حتى يمكن اختيار الملائم منها . ومن ناحية أخرى فهى تساعد على تفهم واستيعاب مختلف العمليات التى تحدث فى مثل هذه المجموعات .

ولقد تم فى الواقع عمل العديد من منحنيات الاتزان للمجموعات الثلاثية . ويستفاد منها عمليا على نطاق واسع .

ومنحنى الاتزان لمجموعة ثلاثية نموذج ثلاثى الأبعاد ، يتم رسمه على أساس مثلث متساوى الأضلاع . ويمكن معرفة اتركيز المكونات فى المثلث بنفس المقياس ، ويسمى « مثلث التركيز » ويجرى توقيع المكونات على أركان المثلث الثلاثة ، بينما تمثل أضلاع المثلث المجموعات الثنائية التى تتألف من كل عنصرين . وكل نقطة داخل المثلث تحدد التركيب الكيميائى للسبيكة الثلاثية .

وهناك قاعدة هندسية هامة ، هى إحدى خواص المثلث المتساوى الأضلاع ، هذه الخاصية هى أن الخطوط الثلاثة (د ن ، د م ، د ع) ، الشكل (٧٣أ) التى رسمت موازية للأضلاع الثلاثة من النقطة د داخل المثلث ، تساوى فى مجموعها (د ن + د م + د ع) طول ضلع المثلث ل الذى اعتبر ممثلا النسبة ١٠٠٪ من التركيز .



شكل (٧٣) طرق تحديد التركيب الكيميائى لمجموعة ثلاثية

فإذا أردنا معرفة التركيب الكيميائى لسبيكة تمثلها النقطة د . نرسم منها ثلاثة خطوط موازية لأضلاع المثلث ، والأطوال المناظرة لخطوط تعطى النسبة المئوية للمكونات ا ، ب ، جـ فى السبيكة ، كما فى الشكل .

ويمكن تحديد التركيب الكيميائى بطريقة أخرى . فى هذه الحالة ، يتخذ ارتفاع المثلث ممثلا ١٠٠٪ . والنظرية الهندسية التى تستخدم فى هذه الحالة تنص على أن مجموع ثلاثة خطوط تقام عموديا على الأضلاع الثلاثة من نقطة فى مثلث متساوى الأضلاع تساوى مقدارا ثابتا هو طول ارتفاع المثلث (أى أن ب $ب_1$ = م ا′ + م جـ′ + م ب′) ، كما فى الشكل (٧٣ ب) .

واستنادا إلى خواص المثلث متساوى الأضلاع ، يمكن بسهولة توضيح ما يلى :

١ – كل السبائك التى يقع تركيبها الكيميائى على خط مستقيم يتصل بأحد رؤوس المثلث على الضلع المقابل ، يكون لها النسبة للتركيب الكيميائى فى عنصرين . فمثلا ، السبائك التى تقع على الخط أ ا تكون النسبة بين مكونيها ب ، جـ ثابتة ، الشكل (٧٣ جـ)

٢ – جميع السبائك التى تقع على الأعمدة الساقطة من رؤوس المثلث (ارتفاعات المثلث) الشكل (٧٣ جـ) ، لها نفس التركيب الكيميائى لمكونين اثنين . فمثلا السبائك التى تقع على الارتفاع ب ب′ تحتوى على كميات متساوية من المكونين أ ، جـ .

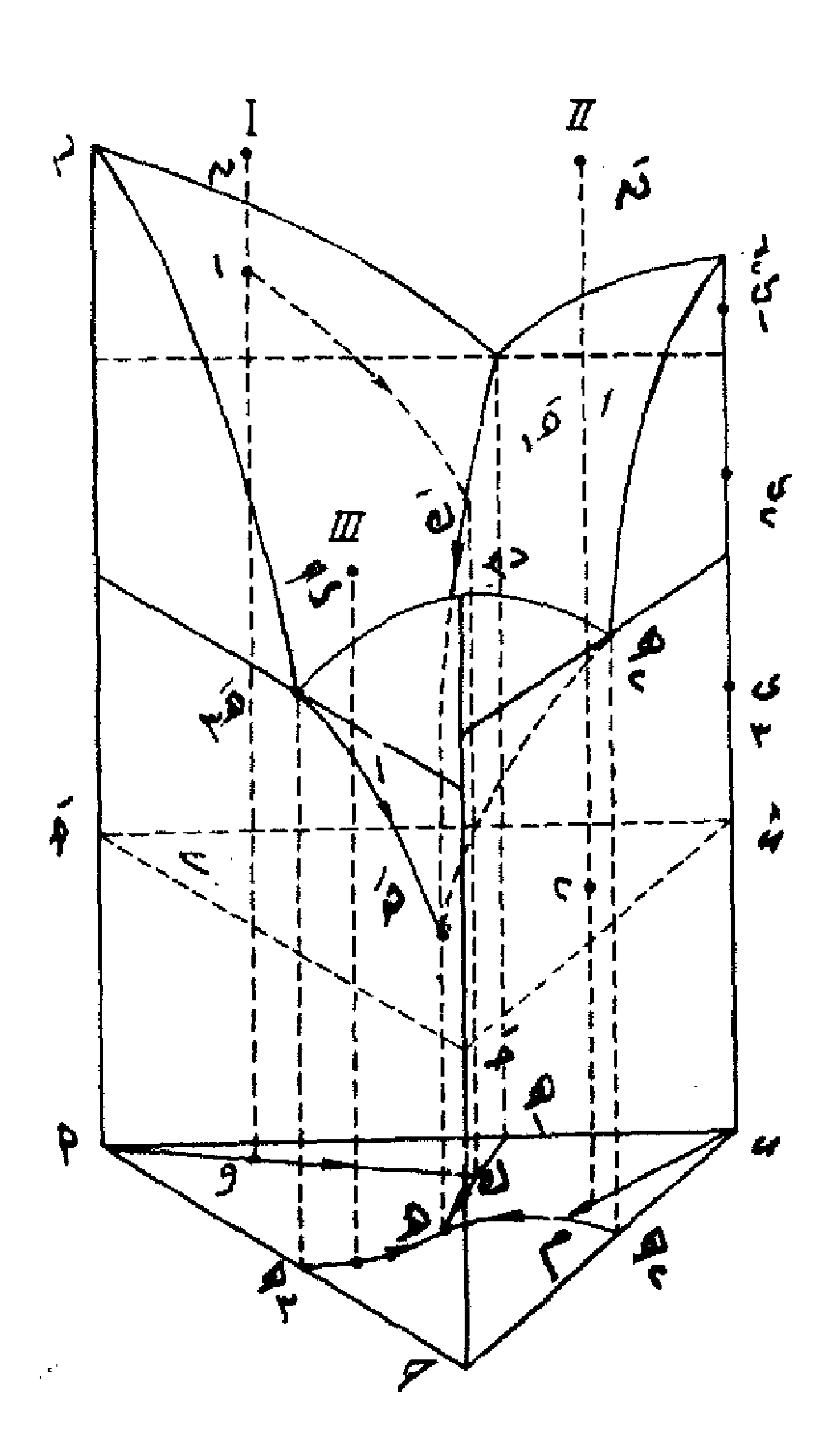
٣ – جميع السبائك التى تقع على خط يوازى أحد أضلاع المثلث (الخط ـ د) يكون لها نفس المحتوى من المكون الذى يقع على الرأس المقابل (الرأس ب فى الشكل ٧٣ جـ)

ويمثل التركيب الكيميائي للسبائك الثلاثية على سطح مستو ، بينما المطلوب أن يكون هناك نموذج مجسم ثلاثي الأبعاد لتوضيح التحولات الحرارية .

ولرسم منحنى لمجموعة ثلاثية ، تتم الخطوة الأولى تماما كما في حالة المجموعة الثنائية ، حيث ترسم منحنيات التبريد على محورين يمثلان درجة الحرارة والزمن ، لسبائك لها تركيبات كيميائية مختلفة . وعند إتمام ذلك ، فإن النقط التي تمثل السبائك المختلفة يجري توقيعها على مثلث التركيز . ثم تقام أعمدة على مستوى مثلث التركيز عند النقط المناظرة . بعد ذلك يجري توقيع درجات الحرارة للنقط الحرجة لكل سبيكة على العمود المناظر . ويتم رسم الأسطح التي تمر بالنقط الحرجة ، بنفس الطريقة التي رسمت بها الخطوط خلال النقط الحرجة في المجموعات الثنائية . وبذلك نحصل على مجسم ذي أبعاد ثلاثة يمثل المجموعة الثلاثية تمثيلا كاملا .

وتقسم منحنيات الاتزان للمجموعات الثلاثية ، تبعا لنفس الأسلوب الذي قسمت به منحنيات الاتزان للمجموعات الثنائية ، أي وفقا لتذاوب المكونات في حالتي الانصهار والصلابة ، ووجود مركبات كيميائية .

ويوضح الشكل (٧٤) رسما بيانيا لمجموعة ثلاثية ، يتذاوب مكوناتها تذاوبا تاما في الحالة المنصهرة ، وتكون مخلوطا ميكانيكيا بسيطا عند تجمدها .



شكل (٧٤)

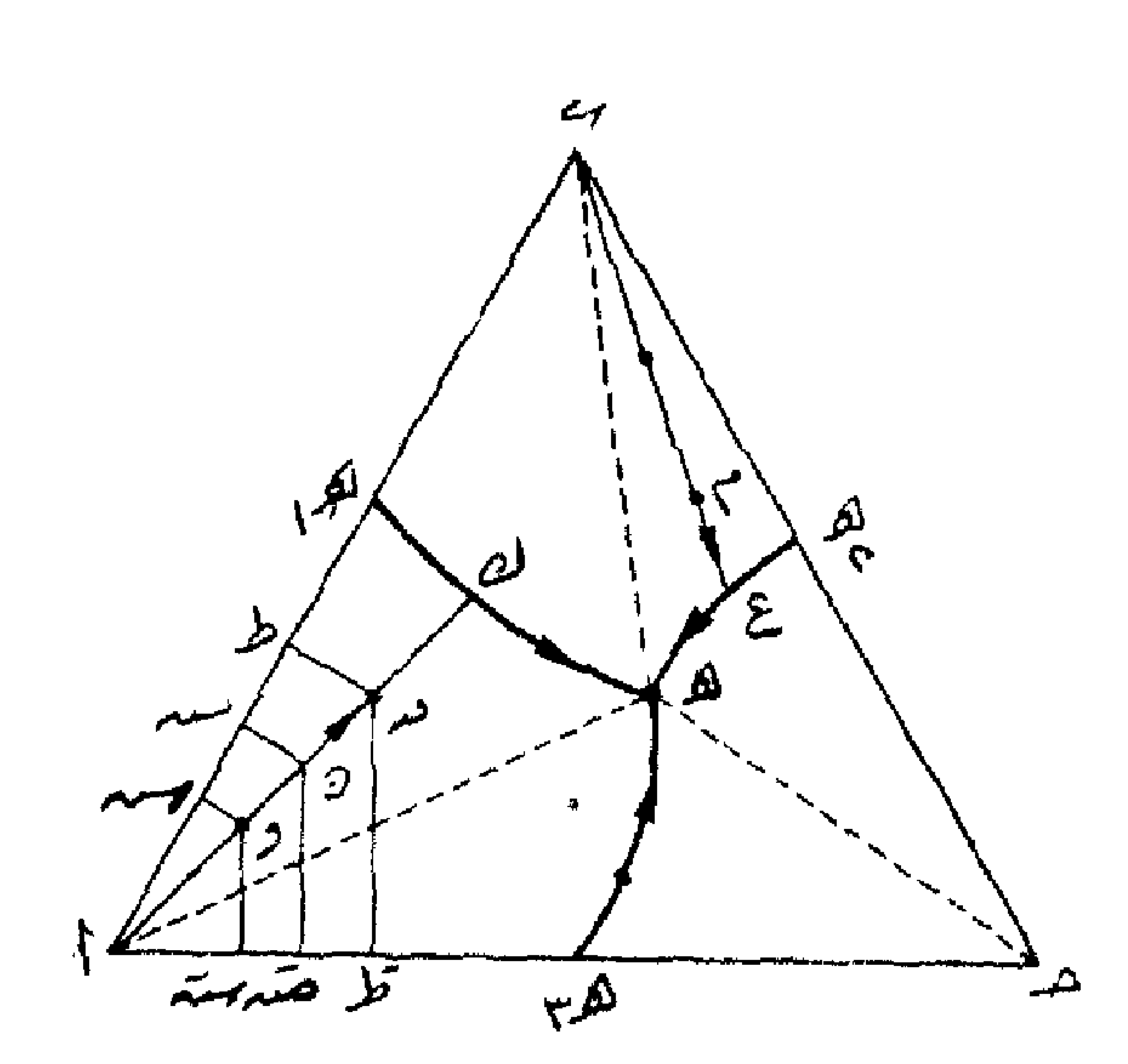
نموذج مجسم لأسطح التوازن لمجموعة ثلاثية تتذاوب مكوناتها تماما في حالة الانصهار وتكون مخلوطا ميكانيكيا في حالة الصلابة

ولقد رسمت كل مجموعة من المجموعات الثنائية أ — ب ، ب — جـ ، جـ — أ على ضلع من أضلاع المثلث الثلاثة كما فى الشكل (٧٤) .

ويمثل السطح د١ هـ١ هـ هـ٣ د١ جزءامن سطح السيولة (يماثل خط السيولة فى المجموعة الثنائية) . ويناظر درجات الحرارة التى يبدأ عندها المكون ا فى الترسب من السبيكة المنصهرة . والسطح د٢ هـ١ هـ هـ٢ د٢ هو سطح السيولة بالنسبةللمكون ب ، والسطح د٣ هـ٢ هـ هـ٣ د٣ يتعلق بترسب المكون جـ . وتمثل الخطوط هـ١ هـ ، هـ٢ هـ ، هـ٣ هـ خطوط اليوتكتى الثنائية فى هذه السبيكة الثلاثية .

وتتقاطع أسطح الجمود الثلاثة هذه فى النقطة هـ' المشتركة ، والتى تمثل نقطة اليوتكتى الثلاثية .

وبإسقاط خطوط اليوتكتى الثنائية إسقاطاً عمودياً على مستوى مثلث التركيز أ ب جـ ، نحصل على ثلاثة منحنيات ثنائية الأبعاد ، هى هـ١ هـ ، هـ٢ هـ ، هـ٣ هـ الشكل (٧٥) .



شكل (٧٥)
إسقاط خطوط اليوتكتى الثنائية على مستوى التركيز أ ب حـ

وحتى يمكن استيعاب مثل هذا المجسم الذى قد يبدو معقدا ، يجدر بنا دراسة سلوك إحدى السبائك وتتبع خطوات تجمدها . ولتكن هذه السبيكة ممثلة تمثيلا تاما بالنقطة و .

من الواضح — كما فى الشكل (٧٤) — أن هذه السبيكة لابد أن تكون منصهرة عند النقطة ن . ولكن بانخفاض درجةالحرارة إلىالنقطة (١) التى تقع على سطح السيولة ، تصبح السبيكة مشبعة بالمكون ا فيبدأ فى الترسب عند هذه النقطة . عندئذ تصبح السبيكة المنصهرة غنية بالمكونين ب ، جـ ، ويتغير تركيبها الكيميائى خلال سطح السيولة فى الاتجاه ا كَ .

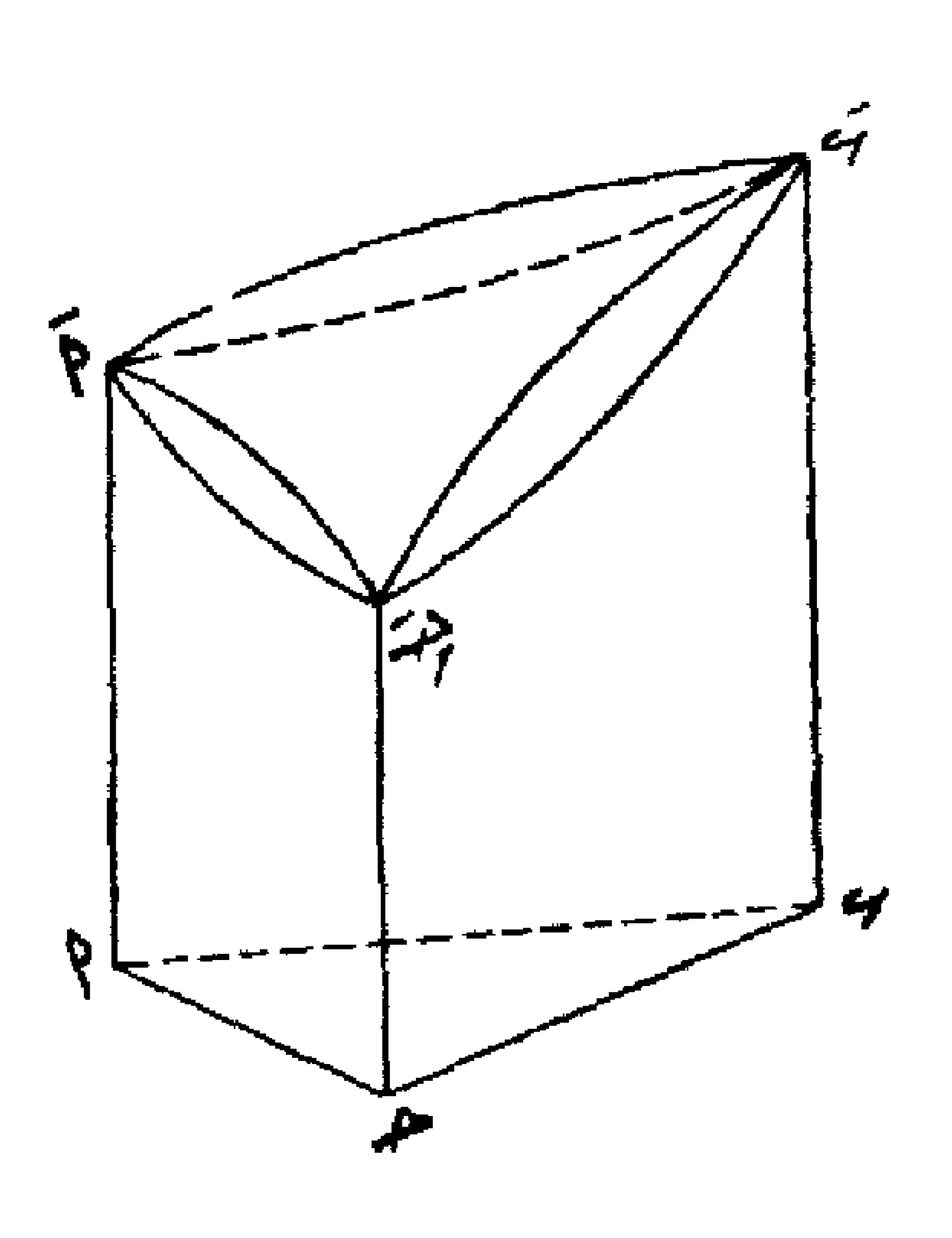
بإسقاط المنحنى ا كَ عموديا على مثلث التركيز ، نحصل على خط مستقيم و كَ (يمكن إثبات ذلك بطرق رياضية) ، يمر امتداده برأس المثلث ا (بالرغم من تغير التركيب الكيميائى للسبيكة المنصهرة ، إلا أن النسبة بين مكونيها ب ، جـ تظل ثابتة ، إذ أن كميتيهما المطلقة فى السبيكة لم تتغير ، مما يحدو بالتركيب الكيميائى للسبيكة المنصهرة أن يتغير خلال خط مستقيم يمر برأس المثلث) . وعندما يبلغ تركيب السبيكة المنصهرة النقطة ك . تصبح مشبعة بالمكونين ا ، ب ، ومن ثم يتجمدان بانخفاض درجة الحرارة عن ذلك على هيئة يوتيكتية . ويتكون اليوتيكيّ (ا + ب) خلال درجة حرارة ثابتة تناظر النقطة (٢) على الشكل ، الواقعة فى المستوى اليوتكتى (اَ بَ جَ) الذى يمر بالنقطة هـ . وفى النهاية نحصل على سبيكة متجمدة تتألف من بلورات ا ، ويوتكتى (ا + ب) ، بالإضافة إلى اليوتكتى الثلاثى (أ + ب + جـ) .

ثمة سبيكة أخرى تمثلها النقطة م ، سوف تتجمد بنفس الكيفية تماما ، وتتكون بعد تجمدها من : ب + (ب + جـ) + (ا + ب + جـ) .

وبالنسبة للسبائك التى تقع على الخطين هـ هـ$_1$ ، هـ$_2$ هـ ، السبيكة ٣ مثلا على الشكل ، سوف تتكون بعد التجمد من يوتكتى ثنائى ويوتكتى ثلاثى . أما السبائك التى تقع على الخطوط ا هـ ، ب هـ ، جـ هـ ، فسوف لا تحتوى على يوتكتى ثنائى ، ولكنها سوف تتكون من مكونات زائدة (ا ، ب أو جـ) واليوتكتى الثلاثى (ا + ب + جـ) .

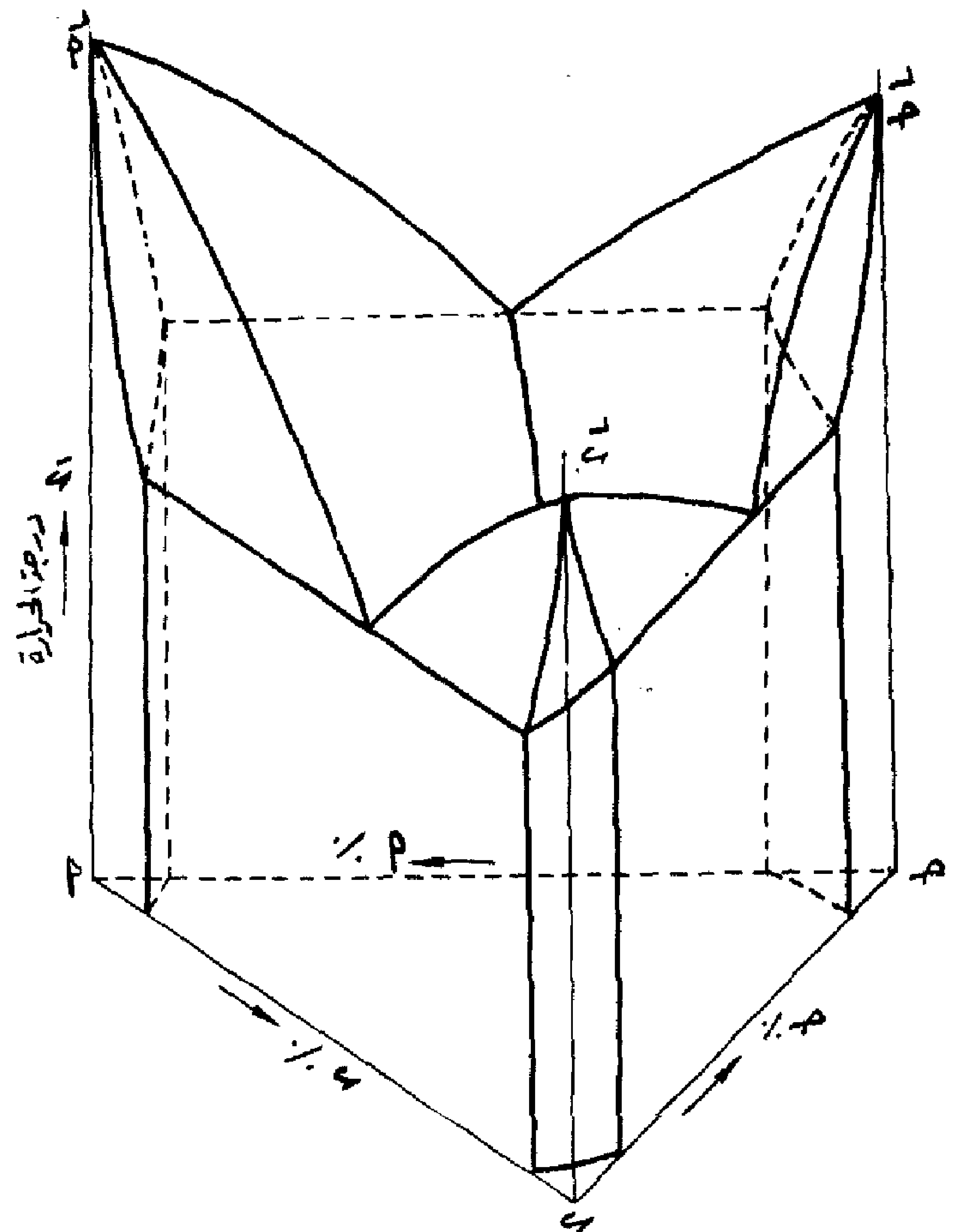
وبالطبع فإن السبيكة التى تمثلها النقطة هـ سوف تحتوى فقط على يوتكتى ثلاثى (ا + ب + جـ)

ويبين الشكل (٧٦) مجسما لمنحنيات اتزان مجموعة ثلاثية من مكونات تتذاوب تماما فى كل من حالتى الانصهار والصلابة . لمثل هذا المجسم سطحان ، هما سطح السيولة وسطح الجمود ، يتجمد بينهما المحلول الجامد الثلاثى ، وتتكون السبيكة الصلبة من هذا المحلول الجامد الثلاثى .



شكل (٧٦)
مجسم لأسطح اتزان مجموعة ثلاثية تتألف من مكونات تتذاوب تماما فى حالتى الانصهار والصلابة

ويبين الشكل (٧٧) مجسما لمنحنيات اتزان مجموعة ثلاثية محدودة التذاوب في الحالة الصلبة وفي أغلب الأحيان ، تستخدم قطاعات معينة خلال المجسم ، لتوضيح التحولات والتغيرات



شكل (٧٧) مجسم لمنحنيات اتزان مجموعة ثلاثية محدودة التذاوب في الحالة الصلبة

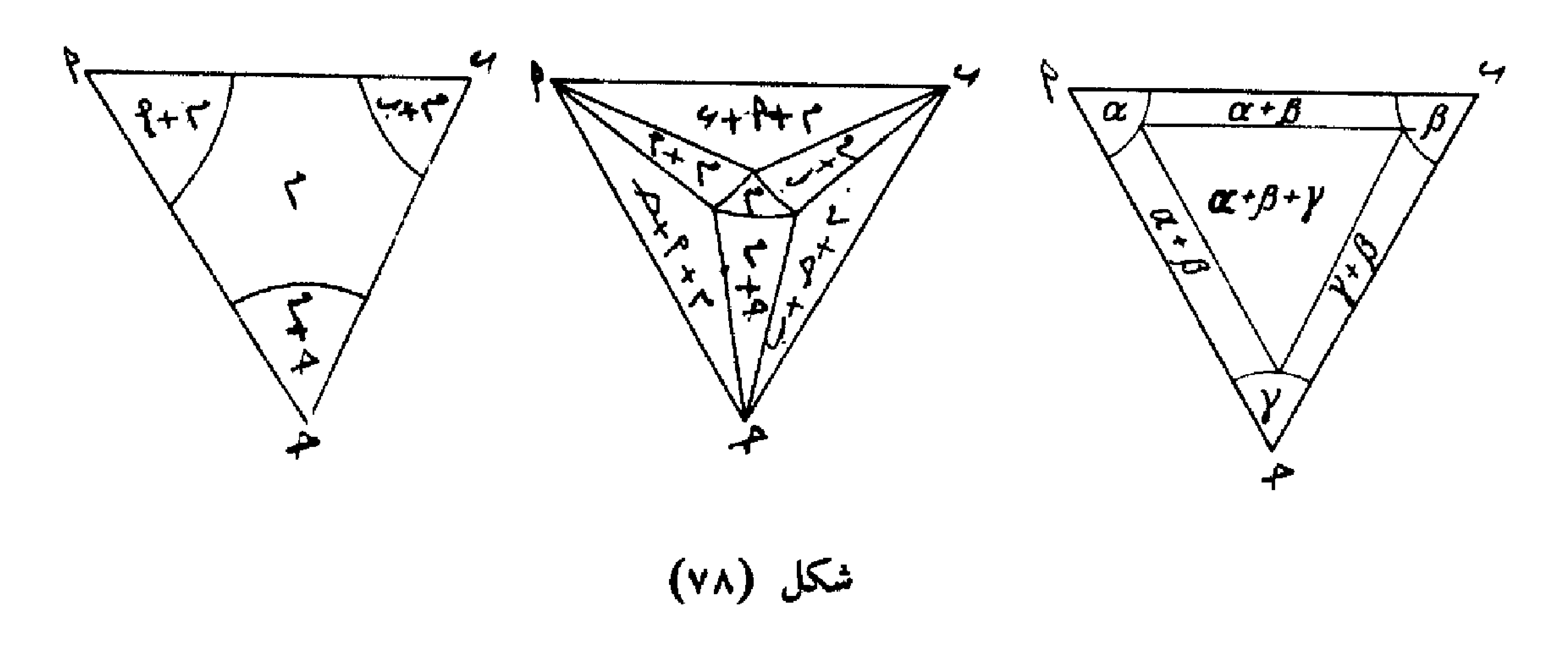
المختلفة التي تطرأ على المجموعة . وهناك طرق عدة للحصول على مثل هذه القطاعات :

١ – عمل قطاعات أفقية في المجسم ، سواء على هيئة قطاعات متساوية الحرارة ، وتمثل الصنف والتركيب البنياني لجميع السبائك عند درجة حرارة معينة ، أو كإسقاطات لأسطح وخطوط معينة على مستوى أفقي (مثلث التركيز) .

٢ – عمل قطاعات رأسية ، إما موازية لضلع من أضلاع مثلث التركيز ، وإما مارة بأحد رؤوسه ، وفي بعض الأحيان ، تؤخذ قطاعات خاصة تبين التركيب البنياني عند جميع درجات الحرارة ، ولكنها فقط لتركيبات كيميائية محددة للمجموعة الثلاثية .

ويوضح الشكل (٧٨) قطاعات متساوية الحرارة للمجسم السابق تم الحصول عليها بواسطة مستويات أفقية عند درجة حرارة فوق درجتى الحرارة اليوتيكتية الثنائية والثلاثية (و) وعند درجة حرارة أعلى قليلا من نقطة اليوتكتى (هـ) . ويوضح الشكل (٧٨) قطاعاتأفقية تحت النقطة اليوتكتية لسبائك تكون محاليل جامدة محدودة .

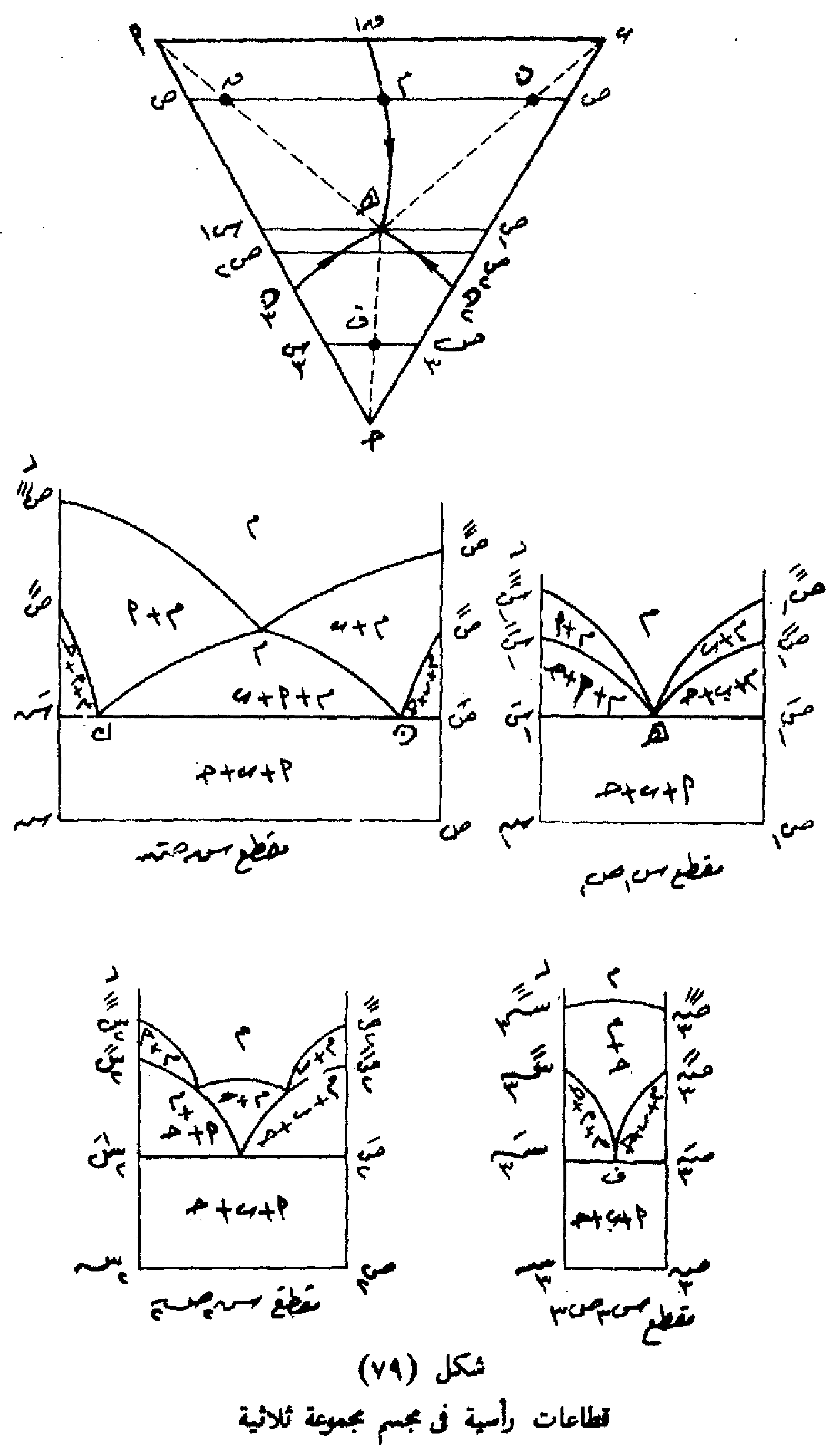
ويبين الشكل (٧٩) عدة قطاعات رأسية فى مستويات توازى الضلع ا ب من مثلث التركيز للمجسم المبين بالشكل (٧٧) .



شكل (٧٨)

قطاعات متساوية الحرارة لمجسم أسطح الإتزان الحرارى لمجموعة ثلاثية (الشكل ٧٧) :

مـ : مصهور



شكل (٧٩)

قطاعات رأسية فى مجسم مجموعة ثلاثية

م : مصهور

الباب الرابع

المعاملة الحرارية لسبائك الالومنيوم

الألومنيوم كغيره من الفلزات ، يتسابك وهو منصهر مع العديد من العناصر الأخرى . فيتذاوب معه كل من النحاس ، والمغنسيوم ، والسيليكون ، والمنجنيز ، تذاوبا تاما دون حدود فى الحالة المنصهرة ، ولكن تذاوبها معه فى الحالة الصلبة يكون محدودا .

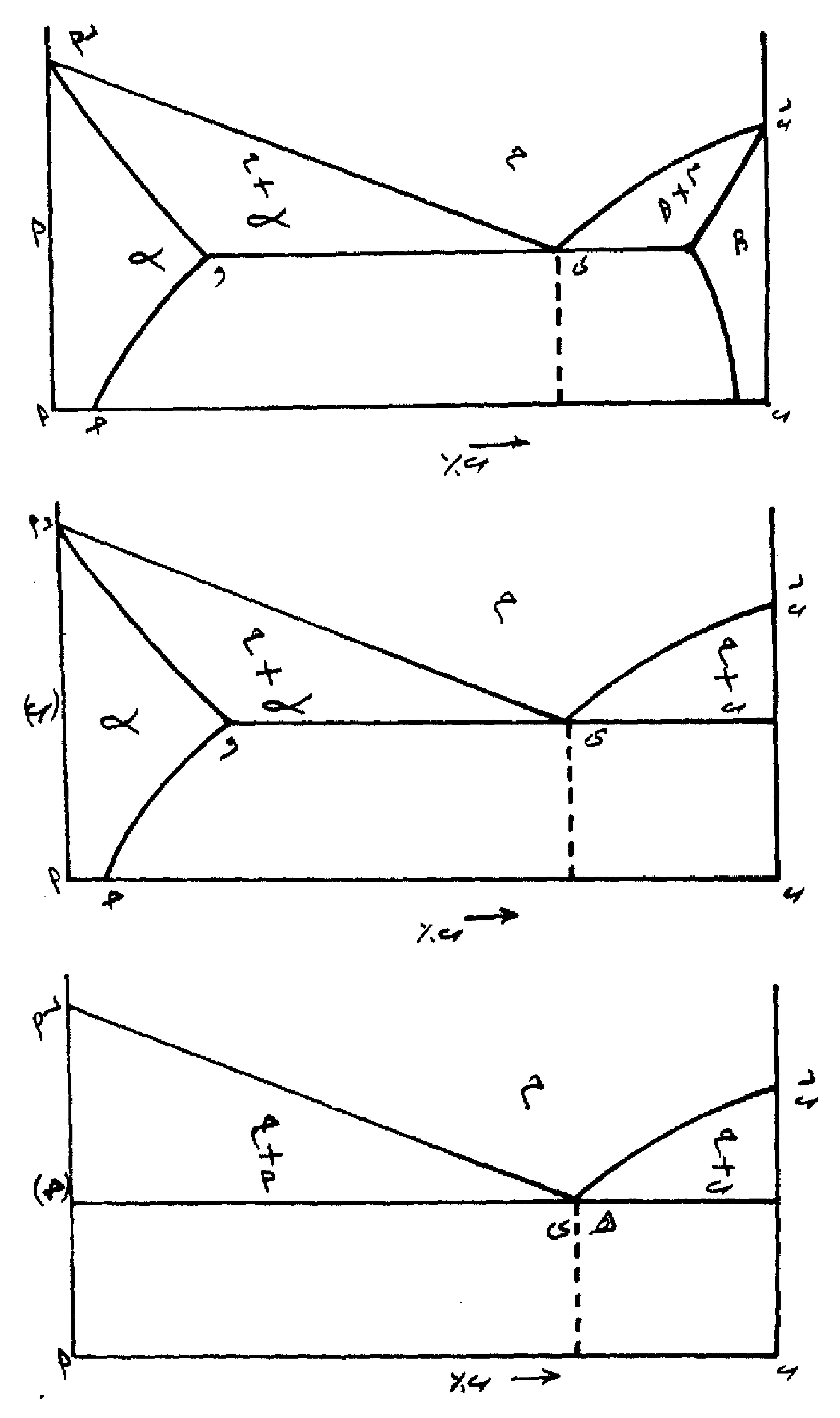
وتضاف العناصر السبيكية إلى الألومنيوم ، بهدف إنتاج سبائك تتمتع بخواص يفتقر إليها الألومنيوم الفلزى الذى يتسم بالطراوة والضعف . فيضاف المغنسيوم ، والنحاس ، والمنجنيز ، للحصول على سبائك الألومنيوم التى تشغل بواسطة الضغط أو الكبس ، حيث تؤدى تلك العناصر إلى تحسين الخواص الميكانيكية لهذه السبائك .

ويمكن بإضافة نسب قليلة من النحاس ، والمغنسيوم ، والمنجنيز ، الحصول على تشكيلة من سبائك الألومنيوم تعرف باسم « ديورالومين » تضارع فى متانتها بعد تصليدها إزمانيا (أى تركها لوقت كاف حتى تتصلد) فولاذ الإنشاءات الكربونى .

ويضاف السيليكون بكميات كبيرة فى سبائك الألومنيوم المخصصة لصناعة المسبوكات ، حتى يكسبها سيولة عالية وهى منصهرة ، ويقلل من كمية الانكماش الحجمى للسبيكة فى أثناء تجمدها . ولكن الخواص الميكانيكية لهذه السبائك أقل جودة من السبائك التى تشكل بواسطة الضغط .

وإضافة الحديد تزيد من متانة الألومنيوم إلى حد ما ، ولكن فى الوقت نفسه ، تقل مطيليته ومقاومته للصدأ . ويعتبر الحديد من أضر الشوائب بالألومنيوم ، إذ يتكون المركب «ألومينات الحديديك » الذى يقلل إلى حد بعيد من قابلية الألومنيوم للتشكيل بالطرق المختلفة .

وتستطيع سبائك الألومنيوم أن تتحمل بسهولة تأثير القوى التى تؤثر عليها على شكل صدمات إذ تمتص هذه السبائك كية من طاقة الصدمة تفوق تلك التى يمتصها الصلب ثلاث مرات . وعموما ، يمكن القول بأن تسابك الألومنيوم فى مجموعة ثنائية مع عنصر آخر ، يمكن أن يتبع منحنى التوازن التالى (الشكل ٨٠ أ) على نحو أو آخر . وقد يتحور هذا المنحنى فيتقلص قليلا ليختفى الصنف β فيصبح منحنى التوازن كما فى الشكل (٨٠ ب) فإذا اختفى الصنف α اتخذ منحنى التوازن هيئة مبسطة ، كما فى الشكل (٨٠ جـ)



شكل (٨٠) الصورة العامة لمنحنيات الاتزان لتسابك الألومنيوم مع غيره من العناصر

م : مصهور

وتهمنا فى دراسة هذه المنحنيات الأجزاء المتطرفة إلى أقصى اليسار ، حيث تحتوى السبيكة على الأقل على ٩٠٪ من الألومنيوم (الرقم ٩٠ اختيارى،حيث أن حدود نسبة الألومنيوم فى سبائكه هى ٩٠ – ٩٩,٩٩٪) .

وبالرجوع إلى الشكل العام لمنحنى التوازن ، الشكل (٨٠ أ) ، يمكن تقسيم سبائك الألومنيوم إلى قسمين :

١ – **سبائك سبكية** : وهى التى تقع على يمين الخط جـ و . ولهذه السبائك ، وبالأخص القريب منها من نقطة اليوتكتى ى ، خواص سبكية جيدة .

٢ – **سبائك تشكيلية** : وهى التى تقع على يسار الخط جـ و . ويؤدى تسخين هذه السبائك إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة اليوتكتى التى تناظر النقطة ى ، إلى تذاوب الأصناف الفائضة ، فتصبح السبائك وحيدة الصنف وتكون لها قابلية عالية للتشكيل بالكبس .

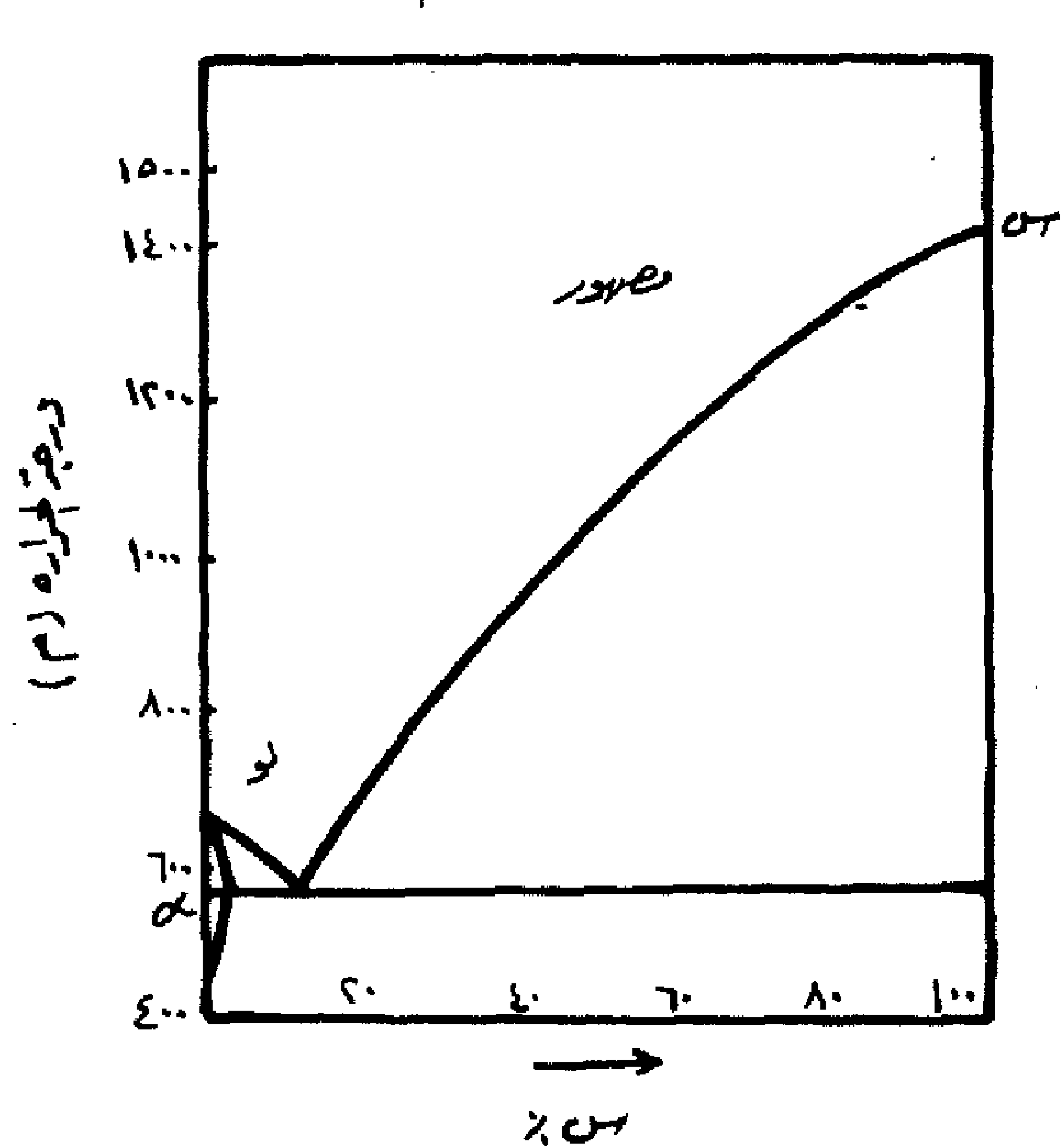
وتنقسم السبائك التشكيلية بدورها إلى نوعين :

(ا) نوع قابل لزيادة مقاومته بمعاملته حراريا ، وهى السبائك التى يقع تركيبها الكيميائى بين النقطتين و ، هـ .

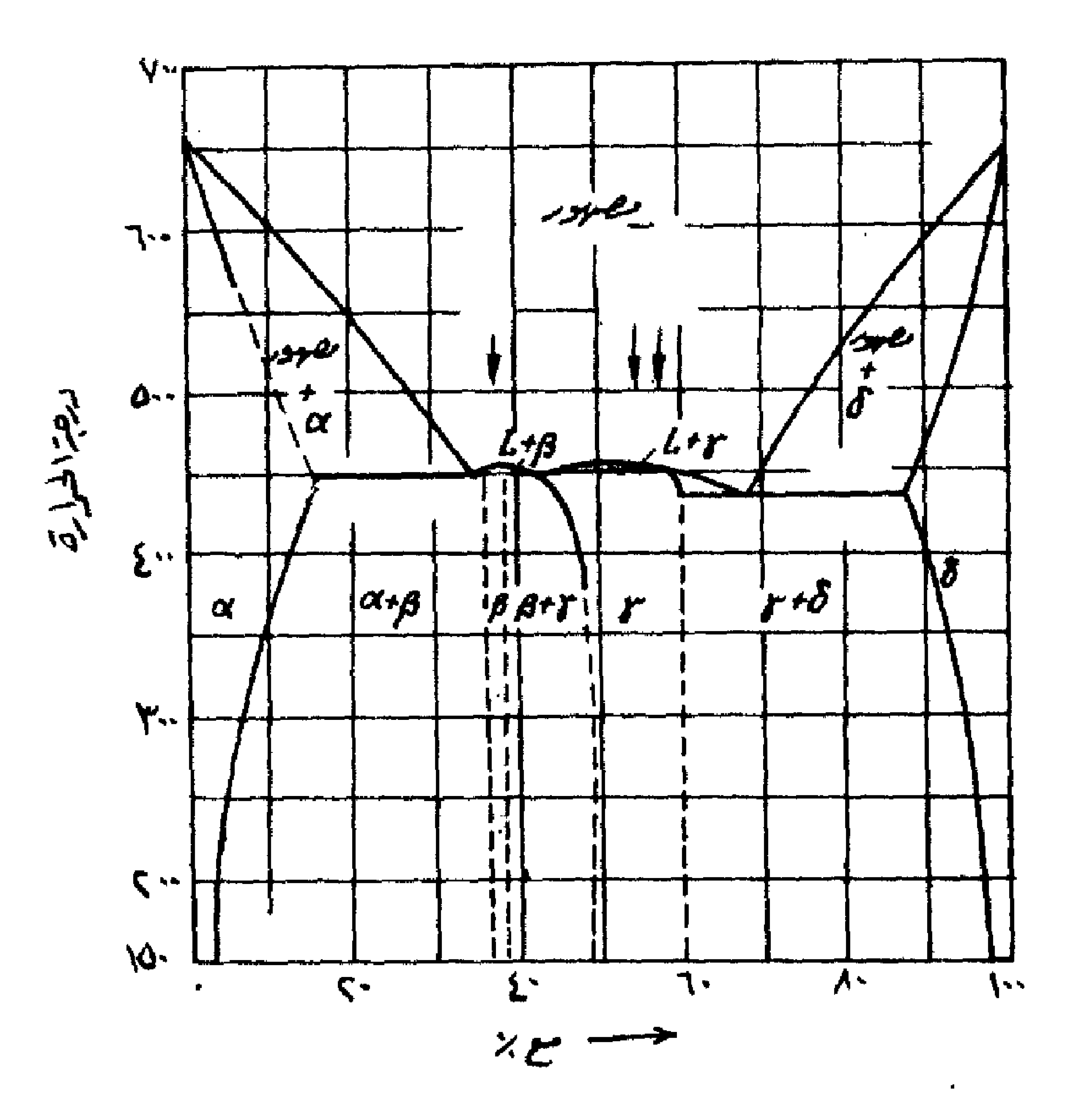
(ب) نوع غير قابل لزيادة مقاومته بمعاملته حراريا ، وهى السبائك التى يقع تركيبها الكيميائى على يسار النقطة هـ .

ومن المفيد الإلمام بمسلك الألومنيوم فى سبائكه ، مع بعض العناصر السبكية المتداولة والتى تكون مجموعة ثنائية .

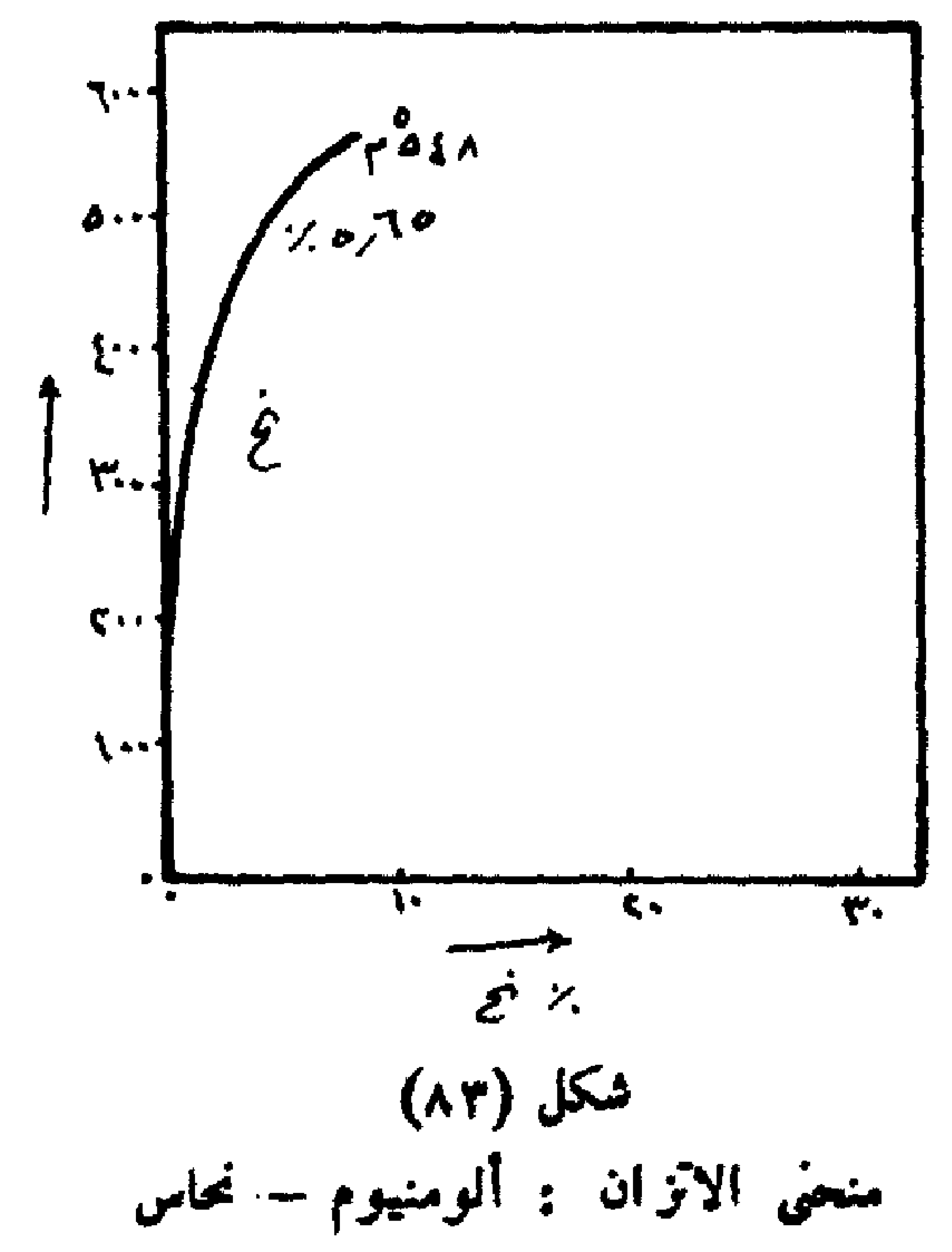
تبين الأشكال (٨١) و (٨٢) و (٨٣) منحنيات الاتزان لسبائك الألومنيوم مع العناصر الآتية : السيليكون ، المغنسيوم ، النحاس .



شكل (٨١)
منحنى الاتزان
ألومنيوم – سليكون



شكل (٨٢)
منحنى الاتزان : ألومنيوم — مغنسيوم



شكل (٨٣)
منحنى الاتزان : ألومنيوم — نحاس

ميتالورجيا المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم :

الميتالورجيا بمضمونها العلمى ، موضوع متخصص إلى حد بعيد ، إذ أن التركيب البلورى للمعدن يحتاج إلى دراسة متعمقة واستيعاب كامل . ومع ذلك نقدم فيما يلى بعض اعتبارات أساسية تمكن من تفهم واستيعاب هذا الموضوع الهام .

تحتوى سبيكة الألومنيوم المنصهرة على عدة عناصر مختلفة قد يبلغ عددها عشراً ، بعض منها يتذاوب تذاوبا تاما ، وبعضها الآخر لا يتذاوب بل يوجد مختلطا فقط . وعليه فإنه إذا سمح للسبيكة المنصهرة أن تبرد ، فإنها تصل إلى نقطة تبدأ عندها فى التجمد . وعند هذه النقطة تبدأ بعض البلورات فى التكون وتكون بمثابة نوى للبلورات التالية . ومع مواصلة التبريد ، يتكون المزيد من البلورات على البلورات الأولى ، وهذه البلورات تبدأ فى تكوين حبيبات بلورية .

بالإضافة إلى ذلك، تتكون بعض المركبات الكيميائية من اتحادالفلزات بعضها مع بعض . وقد تتجمد هذه المركبات بصورة منفصلة مترسبة ، إما بين الحبيبات خلال الحدود الفاصلة بينها ، وإما داخل الحبيبات ذاتها فيما بين البلورات . كذلك قد تنفصل عناصر أخرى بعينها خلال عملية التبريد إلى درجة حرارة الجو المعتاد (درجة حرارة الغرفة) . ومن الواضح أنه نتيجة لذلك ، نحصل على تركيب معقد للغاية .

التصلد نتيجة للتشغيل :

مما سبق ، وبالتغاضى عن تلك الجسيمات الإضافية المترسبة ، يمكن اعتبار أن سبائك الألومنيوم تتكون بصفة عامة من حبيبات ، وهذه بدورها تتألف من بلورات . ويمكن للحبيبات المتجاورة أن تنزلق وتنساب بالنسبة لبعضها بعضا فى شتى الاتجاهات المختلفة . ومن ثم يمكن القول بأن لهذه الحبيبات « مستويات انزلاق » مختلفة ومتعددة .

ويوصف الفلز بأنه « طرى » إذا كان لبلورته مجموعة كاملة من مستويات الانزلاق لم يستغل منها مستوى قط ، أى لم يستنفده المعدن نتيجة لعدم حدوث انزلاق .

قلنا « لم يستغل منها مستوى قط » ، إذ أنه بتسليط قوة ميكانيكية صغيرة ، فإن هذه الحبيبات سوف تنزلق خلال أحد مستويات الانزلاق لمقدارمعين . وعند تعرض فلز طرى للطرق أو الشد ، أو إذا تغيرت أبعاده ميكانيكيا بطريقة أو بأخرى ، بواسطة قوة عند درجة حرارة الغرفة ، فإن البلورات المتجاورة سوف تتحرك خلال أحد مستويات الانزق . ولكن بسبب حدوث الانزلاق خلال أحد المستويات بمقدار معين ، فإنه سرعان ما تبلغ الحركة مداها خلال هذا المستوى . ومن ثم كان تسليط مزيد من الشغل أمرا ضروريا ، حتى يمكن أن يستمر الانزلاق خلال مستويات انزلاق أخرى .

ومع ذلك ، فمن المستبعد تماما أن توجد مستويات الانزلاق المتعاقبة فى أوضاع مواتية ومناسبة بالنسبة لاتجاه القوة المسلطة على المعدن . وعليه فإن النتيجة الحتمية لذلك ، هى أنه بتسليط نفس القوة كما سبق ، يحدث تغير فى الشكل أقل كثيرا مما لو كانت مستويات الانزلاق مواتية تماما لهذه القوة . وبتعرض الفلز لمزيد من الشغل المبذول ، فإن مقاومة المعدن للتغير فى شكله تزداد ، وعندئذ يقال إن المعدن قد تصلد نتيجة لتشغيله .

وهكذا فإنه بتغير شكل المعدن بتشغيله ميكانيكيا ، تستنفد مستويات الانزلاق الواحد تلو الآخر ، ومن ثم يصبح المعدن تدريجيا صلدا ، فأكثر صلادة ، ثم يبدى اعتراضا على تقبل المزيد من الشغل .

من ذلك يمكن استنتاج ، أن المعادن التى لا تتميز بعدد كبير من مستويات الانزلاق ، سرعان ما تصل إلى نقطة يتطلب الأمر عندها تسليط قوة كبيرة لمواصلة تشغيلها ، أو قد ينهار عندها بنيان المعدن إذا ما استنفدت جميع مستويات الانزلاق .

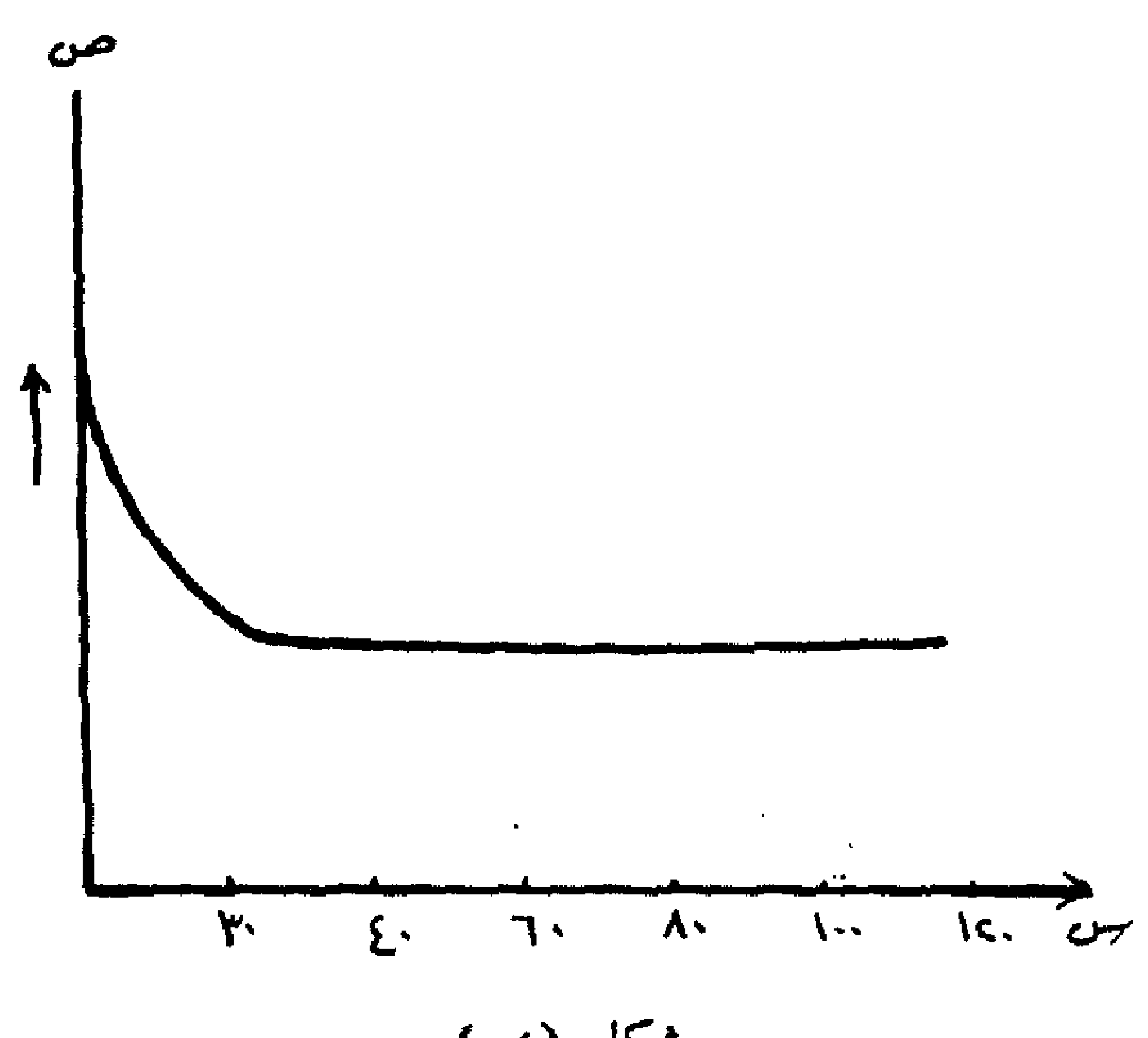
ومن الممكن أن يستعيد المعدن قابليته الأولى للتشغيل ، بنشوء مجموعة جديدة من البلورات ، لها مجموعتها الخاصة من مستويات الانزلاق التى لم تستغل بعد . ويتم ذلك بتسخين المعدن الذى سبق تشغيله (تصلده) إلى درجة حرارة يعيد عندها المعدن تكوين بنيانه البلورى من جديد .

ودرجة الحرارة هذه تسمى « نقطة إعادة التبلور » أو « درجة حرارة إعادة التبلور » . ولكى تستعيد سبائك الألومنيوم بنيانها البلورى من جديد ، يلزم تسخينها إلى درجات حرارة منخفضة نسبيا ، وتقع بين ١٤٨ — ٤٠٠°م . ويمكن التحكم فى هذه العملية بسهولة ، كما أنه من الممكن الحصول على نتائج طيبة يمكن التعويل عليها .

فإذا كنا بصدد تشكيل فنجان من الألومنيوم من قرص دائرى مسطح من الفلز بواسطة السحب العميق ، فبدلا من محاولة إنتاج الفنجان من القرص المسطح بعملية تشكيل واحدة ، يمكن الحصول على الشكل النهائى على عدة خطوات أو مراحل ، تتخللها عملية تلدين (تخمير) بين كل خطوة والتالية لها ، وذلك لتصحيح وتخفيف الإصلاد الناشئ ، عن التشغيل . وبهذه الكيفية يمكن المحافظة على كل خطوة فى حدود التشغيل العملى للمادة ، فلا يتم سحب القرص إلى ما بعد النقطة التى يؤدى عندها التشغيل ، وما يصاحبه من إصلاد إلى حدوث شدوخ أو انهيار للمعدن .

من هنا يمكن تفهم السبب فى أن عمليات تشكيل سبائك الألومنيوم ، تتضمن خطوات متعاقبة من الضغط أو الكبس ، تتخللها سلسلة من المعاملات الحرارية .

ويبين الشكل (٨٤) تأثير زمن التلدين (التخمير) عند ٢٥٠°م على صلادة سبيكة من الألومنيوم (نسبة المغنسيوم بها ٢,٨٧٪) ، فنجد أن الصلادة قد انخفضت انخفاضا حادا فى غضون دقائق لا تزيد على العشر ، نتيجة إعادة تبلور هذه السبيكة ، ويبين السهم ظهور أولى حبيبات التبلور التى باكتمالها تثبت قيمة الصلادة .



شكل (٨٤)

تأثير زمن التلدين « التخمير » عند ٢٥٠°م ، على صلادة سبيكة الألومنيوم (بها مغنسيوم ٢,٨٧ ٪) :

المحور س : زمن التلدين بالدقيقة   المحور ص : الصلادة

دور عنصر الوقت فى عمليات المعاملة الحرارية :

من الأهمية بمكان ، تفهم تأثير عنصر الوقت فى عمليات المعاملة الحرارية للفلزات . فمثلا ، فى عملية التلدين (التخمير) السابق وصفها ، إذا لم يراع استبقاء الشغلة فوق درجة حرارة إعادة التبلور فترة مناسبة . فلن تتاح فرصة كافية لكى تنمو بلورات الفلز تماما ، لأن تلك العملية تستغرق بعض الوقت . وفى الواقع ، تتطلب معظم التغيرات التى تنشأ داخل بنيان الفلز فترة زمنية معينة . ويلزم أيضا بعض الوقت لكى تتخلل الحرارة تماما خلال جميع أجزاء الشغلة المعدنية التى تجرى معاملتها حراريا . وهذا أمر ضرورى حتى يكون هناك ارتفاع كاف فى درجة الحرارة فى سائر القطاعات تجنبا للاختلاف فى التركيب الميتالورجى المطلوب . ويجب أن ندرك أنه إذا ما أردنا رفع درجة حرارة قلب الشغلة رفعا سريعا بوضعها فى فرن درجة حرارته عالية ، فإن ذلك يؤدى حتما إلى رفع درجة حرارة الشغلة عند سطحها وأركانها إلى حد التسخين المفرط الذى قد يؤدى إلى حرقها وإتلاف خواصها .

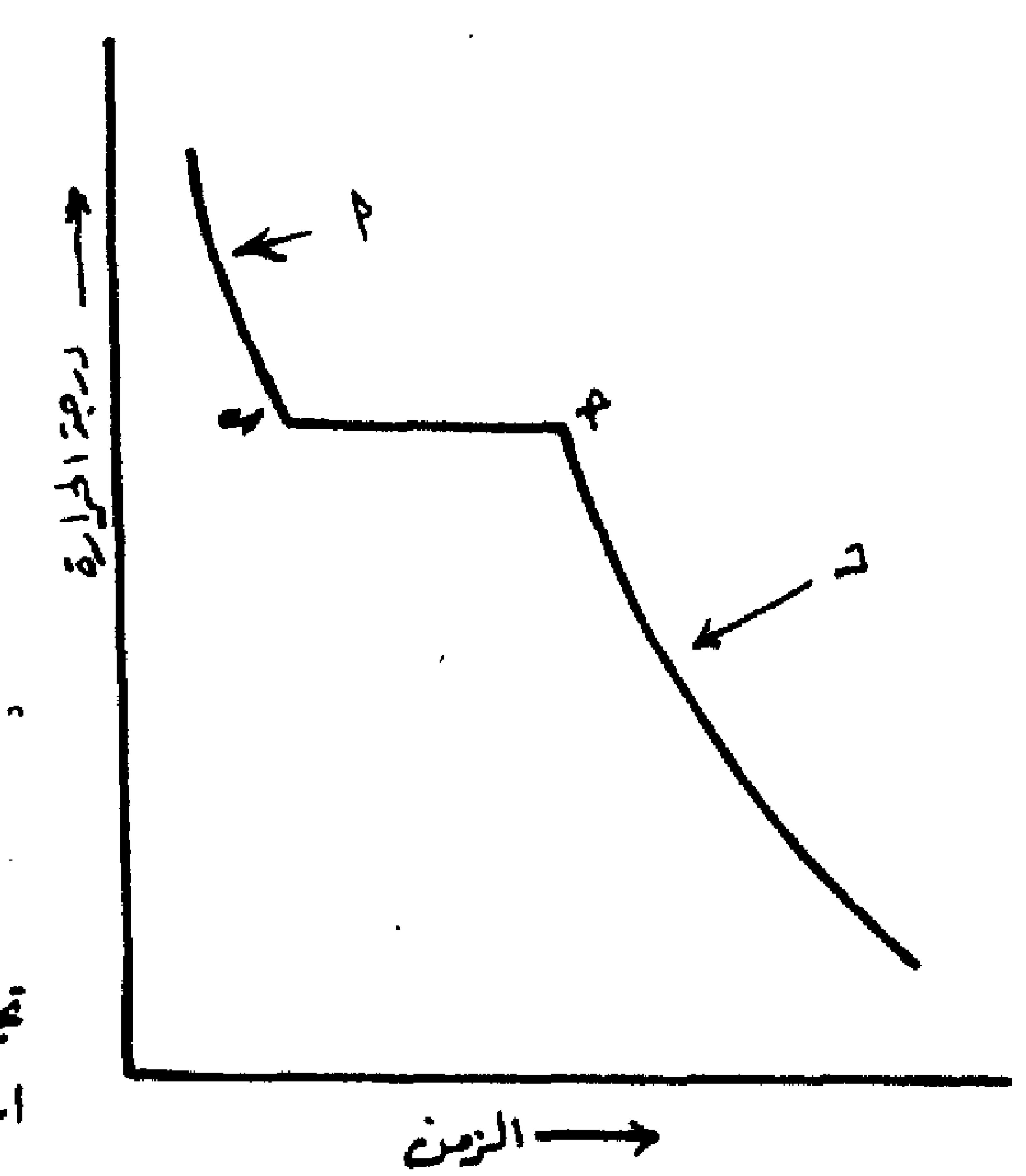
ولكل هذه الأسباب ، فى أية معاملة حرارية ، يجب أن تترك الشغلة وقتا كافيا عند درجة الحرارة المطلوبة .

ولعنصر الوقت أهمية أخرى فى عمليات المعاملة الحرارية ، إذ أن هناك عمليات ميتالورجية أخرى تتطلب بعض الوقت لكى تتم على الوجه الأمثل ، مثل عملية الانتشار فى الحالة الصلبة ، وغيرها من عمليات المعاملات الحرارية .

ويجدر بنا قبل الدخول فى تفاصيل المعاملة الحرارية ، والتركيب البنيانى لسبائك الألومنيوم ، أن نبدأ بالفلز فى حالته النقية ، توخيا للسهولة ، لنرى كيف يؤثر عامل الوقت على التركيب البنيانى للفلز .

يبين الشكل (٨٥) العلاقة بين الوقت ودرجة الحرارة للفلز النقى عندما يترك ليتجمد من حالة الانصهار (النقطة أ) .

بانخفاض درجة الحرارة ، تصل إلى درجة الحرارة (ب) حيث يبدأ الفلز فى التجمد (درجة تجمد الألومنيوم النقى ٦٥٨°م) . وتظل درجة حرارة المصهور الذى بدأت تتكون خلاله البلورات الأولى من الفلز النقى ثابتة بعض الوقت ، إلى أن يتم تجمد المصهور كلية ، ويرجع ذلك إلى انبعاث أو اعتاق كمية من الحرارة تسمى « الحرارة الكامنة » ، وهى تعادل كمية الحرارة المفقودة نتيجة التبريد . ومن ثم يأخذ المنحنى اتجاها أفقيا حتى النقط (ج) التى تتجمد عندها آخر نقطة فى المصهور .

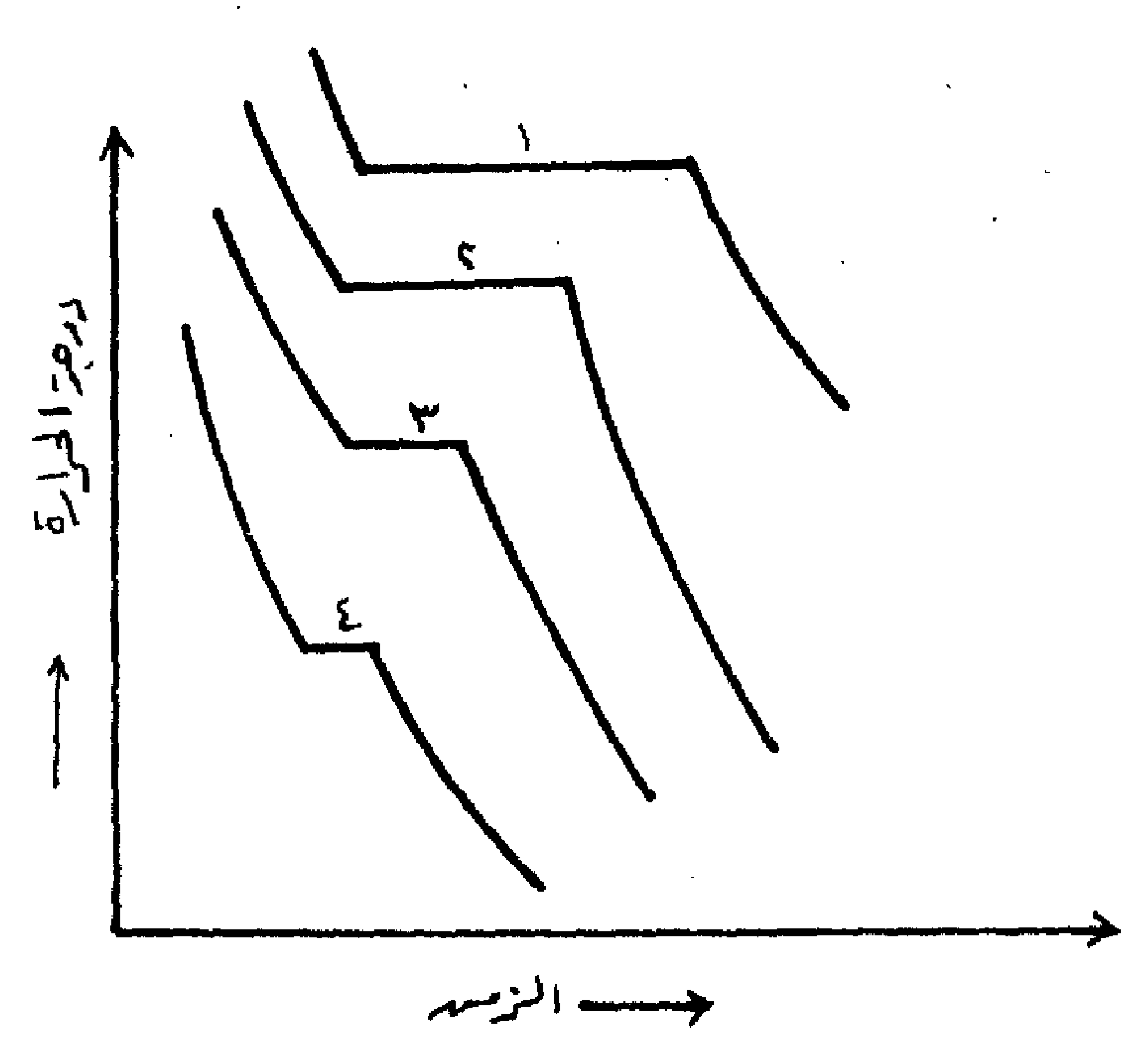


شكل (٨٥)

تجمد الفلز النقى : العلاقة بين الزمن ودرجة الحرارة

وبعد أن يتجمد المصهور كلية ، تأخذ درجة حرارته فى الانخفاض تدريجيا نتيجة للتبريد. وتمثل هذه المرحلة بميل الخط البيانى (د) ..

ويجب ألا يغيب عن الذهن ، أن ذلك المسلك هو مسلك الفلز النقى فقط ، ولكل فلز نقى منحنى خاص به ، وله نقطة ثابتة وتختلف من فلز لآخر ، بمعنى أن الجزء الأفقى من المنحنى يتغير صعودا أو هبوطا على المحور الرأسى ، تبعا لدرجة حرارة انصهار الفلز . الشكل (٨٦) .



شكل (٨٦) منحنيات التبريد للفلزات النقية :
١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ فلزات مختلفة

ولدراسة مسلك الفلز عند تبريد مصهوره عندما لا يكون نقيا ، أى عندما يكون متسابكا مع غيره من العناصر مكونا سبيكة ، فإننا سنختار هنا أبسط أنواع السبائك ، وهى السبيكة التى تحتوى على عنصرين فقط ، مكونة مجموعة ثنائية .

سبق أن ذكرنا أن الألومنيوم يتسابك مع غيره من العناصر ، فهو يتذاوب مع النحاس، والمغنسيوم ، والسيليكون ، وغيرها . وللتيسير ، نأخذ المجموعة الثنائية (ألومنيوم — نحاس) كمثال للسبيكة البسيطة . بصهر الألومنيوم مع النحاس نجد أنهما يكونان مصهورا متجانسا تام التذاوب ، وبترك هذا المصهور ليبرد نجد أنه يسلك مسلكا مختلفا تماما عن مسلك الفلز النقى ، ويرجع ذلك إلى وجود « نطاق للتجمد » بدلا من « نقطة التجمد » ، حيث تبدأ السبيكة فى التجمد عند درجة حرارة معينة وتستمر فى التجمد ، بينما تأخذ درجة الحرارة فى الانخفاض أيضا حتى قبل تجمد المصهور نهائيا ، ويبين هذا الجزء من المنحنى بالجزء المنقط هـ و ، ويستمر المنحنى إلى النقطة « ى » .

التجمد التبايني :

إذا رجعنا إلى منحنى التبريد فى الشكل الأسبق للفلزين الألومنيوم والنحاس ، نجد أنه ما إن تبدأ السبيكة فى التجمد ، حتى تنشأ بلورات تتكون كلية من الألومنيوم النقى . وبانخفاض درجة الحرارة ، تبدأ فى الظهور بلورات بنسب محسوسة من النحاس . وباستمرار التبريد تتكون بلورات تحتوى على نسب متزايدة من النحاس . فعند النقطة هـ ، تتجمد جسيمات سبيكية قد يكون تكوينها الكيميائى ٩٩,٩٪ من الألومنيوم ، ٠,١٪ من النحاس . ولكن تحت النقطة هـ مباشرة قد يكون التركيب الكيميائى لجسيمات التى تتجمد خلال المصهور ٩٩٪ من الألومنيوم ، ١ ٪ من النحاس ، وبالمثل فإن جسيمات تحتوى على ٩٨٪ من الألومنيوم ، ٢٪ من النحاس سوف تتجمد عند درجة حرارة أقل .

وهكذا فإنه بانخفاض درجة الحرارة ، فإن البلورات التى تتكون خلال المصهور عند أية لحظة تكون مـ ـر ة لسبيكة الألومنيوم والنحاس التى تتجمد عند تلك الدرجة من الحرارة بعينها .

وبعبور المنحنى لجزء و ، تحتوى جسيمات السبيكة التى تتجمد خلال المصهور على نسبة متزايدة باستمرار من النحاس . وعند ى تتكون البلورات الأخيرة من المصهور ، وبذلك يكون كل المصهور قد تجمد نهائيا ، وتنخفض درجة الحرارة خلال منحنى مماثل للسابق .

وعندما يحتوى المعدن المنصهر على أكثر من عنصرين ، فإن هذا المنحنى يتغير كثيرا ، وتصبح عملية التجمد نفسها أكثر تعقيدا .

ومن الواضح أنه بالنسبة لسبيكة ألومنيوم فعلية ، وهى تحتوى عادة على عناصر مختلفة يتراوح عددها بين ستة وعشر عناصر ، فإن مسلك هذه السبيكة سوف يكون بعيدا كل البعد عن البساطة ، خاصة وأن كثيرا من العناصر المختلفة فى السبيكة ستكون بدورها مخاليط مختلفة ، أو مركبات تتباين فى سلوكها ، مما يؤدى إلى تعقيد الموقف .

الترسيب :

الترسيب هو أحد التعقيدات التى تنتج من جراء وجود العديد من العناصر المختلفة فى سبيكة الألومنيوم ، حيث تؤدى عدة عناصر إلى تكوين مخاليط أو مركبات تتجمد أو تنفصل عن المصهور على هيئة دقائق صغيرة مستقلة قبل – أو حتى بعد – تجمد معظم المواد الأخرى .

هذه الجسيمات قد تكون من الصغر بحيث يمكنها أن تترسب وتكمن بين الأسطح الفاصلة للبلورات المتجاورة . ويكون ترسبها بكيفية تعمل على « تثبيت » البلورات ، عن طريق إعاقتها عن الانزلاق بعضها على بعض . ومن ثم تزداد مقاومة السبيكة للتشغيل الميكانيكى ،

وهذا بدوره قد يكسب السبيكة صلادة وقصافة ، كما يفقدها فى الوقت نفسه بعضا من الخواص الميكانيكية الأخرى كالمطيلية . وعلى حسب الظروف ، فقد تكون النتيجة مطلوبة أو غير مرغوب فيها .

وعندما يصبح انزلاق البلورات بعضها على بعض صعبا ، فإن الفلز يبدو وكأن لديه عددا أقل من مستويات الانزلاق . ومن ثم يصبح صلدا يقاوم التشغيل الميكانيكى . كما يصبح أكثر متانة . لذلك فقد تكون النتيجة النهائية ، تحسن الخواص الميكانيكية للفلز كثيرا . وكما سنرى فيما بعد ، فإن هذا هو الغرض من المعاملات الحرارية المختلفة .

ويجب أن يوضع فى الاعتبار أنه إلى جانب ترسب الجسيمات الصلبة (الجامدة) من المصهور يحدث أيضا ترسب لجسيمات الصلبة من أوساط جامدة . فكما يستطيع فلز جامد أن ينتشر خلال فلز جامد آخر (أنظر : التجنيس) ، فإنه يمكن للعنصر الجامد أن يترسب من وسط جامد .

الإنعزاليـة :

عندما يسمح لسبائك الألومنيوم المنصهرة بالتبريد ، بعد صبها فى قوالب ، حتى تتجمد إلى كتل (مصبوبات) ، فإنه من الطبيعى أن تبرد أسطح الكتلة الملامسة للقالب بسرعة أكبر من باقى الكتلة . لذلك فإن البلورات الأولى تتكون على أسطح الكتلة التى تلامس جدران القالب . وباستمرار انخفاض درجة الحرارة وتكون البلورات تباعا ، تنشأ البلورات الجديدةعلى البلورات الأولى ، مكونة حبيبات تنمو فى اتجاه مركز الكتلة ، وعموديا على جدران القالب .

وفى الوقتالذى تنمو فيه الحبيبات إلىالداخل نتيجة لفقد الحرارة خلال جدران القالب، يظل قلب الكتلة منصهرا لارتفاع درجة حرارته .

وكما رأينا فى البند السابق ، فإن بعض مكونات المعدن المنصهر تترسب أو تنفصل عن المصهور ، كلما انخفضت درجة الحرارة. وفى حالتنا هذه ، فإنه نتيجة لعدم تساوى درجات الحرارة خلال كل أرجاء الكتلة ، يحدث الترسب بكيفية غير متساوية . وهذا يؤدى بدوره إلى عدم انتظام توزيع المترسب (المواد المنفصلة) .

ولما كان لهذه الرواسب (المترسبات) تأثير خاص – مرغوب فيه – على خواص الفلز ، فن الضرورى أن يكون توزعها منتظما خلال كل الفلز المتجمد . ويتم ذلك ميكانيكيا بالتشغيل ، أو بما يعرف فى المعاملة الحرارية باسم « التجنيس » .

التجنيس :

بالرجوع إلى منحنى تجمد سبيكة الألومنيوم والنحاس ، نجد أن البلورات التى كانت سباقة إلى الترسيب فى أول الأمر ، كانت مكونة من الألومنيوم النقى ، تلتها بلورات ترسبت

محتوية على نحاس بنسب تتزايد بانخفاض درجة الحرارة . ومن ثم فإن الحبيبات البلورية المتكونة تحتوى على تركيب بنيانى ، يختلف تركيبه الكيميائى من القلب إلى الخارج ، وهذا التركيب البنيانى غير مرغوب فيه ، لتباين خواصه من الداخل إلى الخارج . وعليه ، فن اللازم تغير هذا التركيب البنيانى إلى تركيب بنيانى آخر ، يؤدى إلى تحسين الخواص الميكانيكية للسبيكة .

ولكى يتم ذلك ، فإننا نلجأ إلى ظاهرة « الانتشار فى الوسط الجامد » وهو مصطلح يطلق للدلالة على انتشار أو ذوبان فلز فى آخر كلاهما فى الحالة الصلبة . ولكى ينتشر النحاس فى سبيكة الألومنيوم بمعدل أكبر ، يجرى تحفيز ذرات النحاس ، برفع درجة حرارة السبيكة إلى ما دون درجة حرارة الانصهار بقليل ، ثم تتبع بعملية تبريد بطىء ، وهذه العملية تسمى « التجنيس » .

وتتراوح درجة الحرارة المناسبة لمعظم سبائك الألومنيوم بين ٤٨٠ — ٥٤٠°م . وبهذه الوسيلة يمكن التغلب على ما تبديه بعض المكونات من نزعة للانفصال أو إحداث انعزالية فى بنيتها على هيئة مساحات رقيقة وكثيفة فى الوقت نفسه .

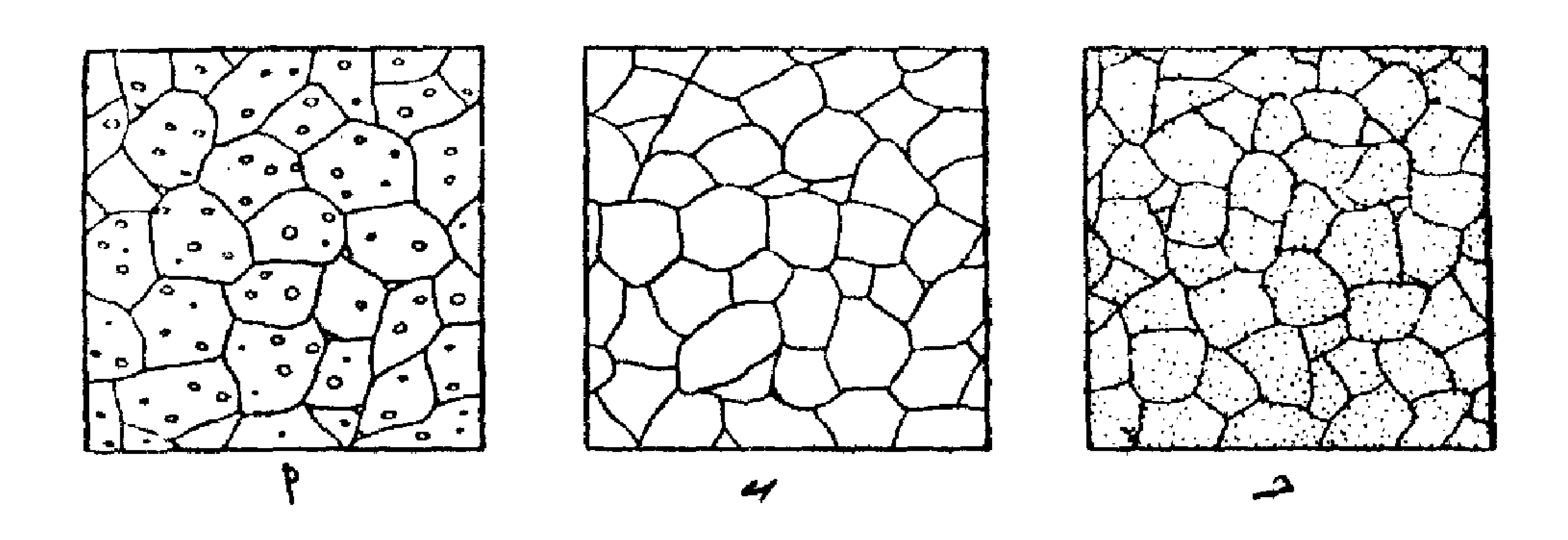
إذن فالتجنيس عملية تساعد على إحداث توزيع منتظم للعناصر السبيكية وغيرها من المكونات الأخرى ، ومن ثم تساعد فى الحصول على تركيب بنيانى متجانس مطلوب .

تقوية سبائك الألومنيوم بواسطة المعاملة الحرارية :

يمكن تقوية سبائك* الألومنيوم بترسيب بعض مكوناتها داخل الحبيبات البلورية خلال الحدود الفاصلة فيما بين البلورات ، أو فى مستويات الانزلاق بين البلورات ، بكيفية تعمل على إعاقة وعرقلة الانزلاق ، ومن ثم تصبح السبيكة أصلد وأقوى من ذى قبل . ويبين الشكل (٨٧) رسما توضيحيا لخطوات ترسيب المكونات خلال الحدود الفاصلة بين البلورات أثناء معاملتها حراريا بهدف تقويتها .

ويمكن أيضا زيادة المقاومة للانزلاق ، بالتحكم فى الأصناف المترسبة بين البلورات ، بحيث تبدو معه كحبيبات خشنة جدا . ومن الواضح أن المادة التى تعمل على مساعدة الحركة الحرة للبلورة بالنسبة لغيرها من البلورات ، سوف تنتج عنها سبيكة طرية وضعيفة ، بينما المادة التى تعرقل الحركة الحرة للبلورات ، تؤدى إلى أن تكون السبيكة أصلد وأقوى .

(*) قد يستخدم المصطلح التقسية أو التصليد بديلا عن « التقوية » ولكنها جميعا فى النهاية تؤدى الى نفس المعنى ، وهو الحصول على سبيكة قوية ومتينة بواسطة المعاملة الحرارية .



شكل (٨٧)

رسم توضيحي يبين التغير في التركيب البنياني لإحدى سبائك الألومنيوم التي جرى تقويتها بالمعاملة الحرارية .

ومن البديهى أن تحتوى السبائك التى تستجيب للمعاملة الحرارية ، أى تكتسب متانة ملحوظة بمعاملتها حراريا ، على أصناف (أطوار) تتسم بذائبية كبيرة مع الألومنيوم فى حالة الصلابة عند درجات الحرارة المرتفعة ، بينما تقل هذه الذائبية تباعا بانخفاض درجة الحرارة ، حتى تكاد تنعدم أو تبدو عديمة التذاوب عند درجة حرارة الغرفة . وفى الرسم البيانى لمنحنيات الاتزان ، يرمز إلى هذه الأصناف بالرمز α فإذا ما خلا منحنى الاتزان من مثل هذه الأصناف ، انعدمت استجابة السبيكة للمعاملة الحرارية .

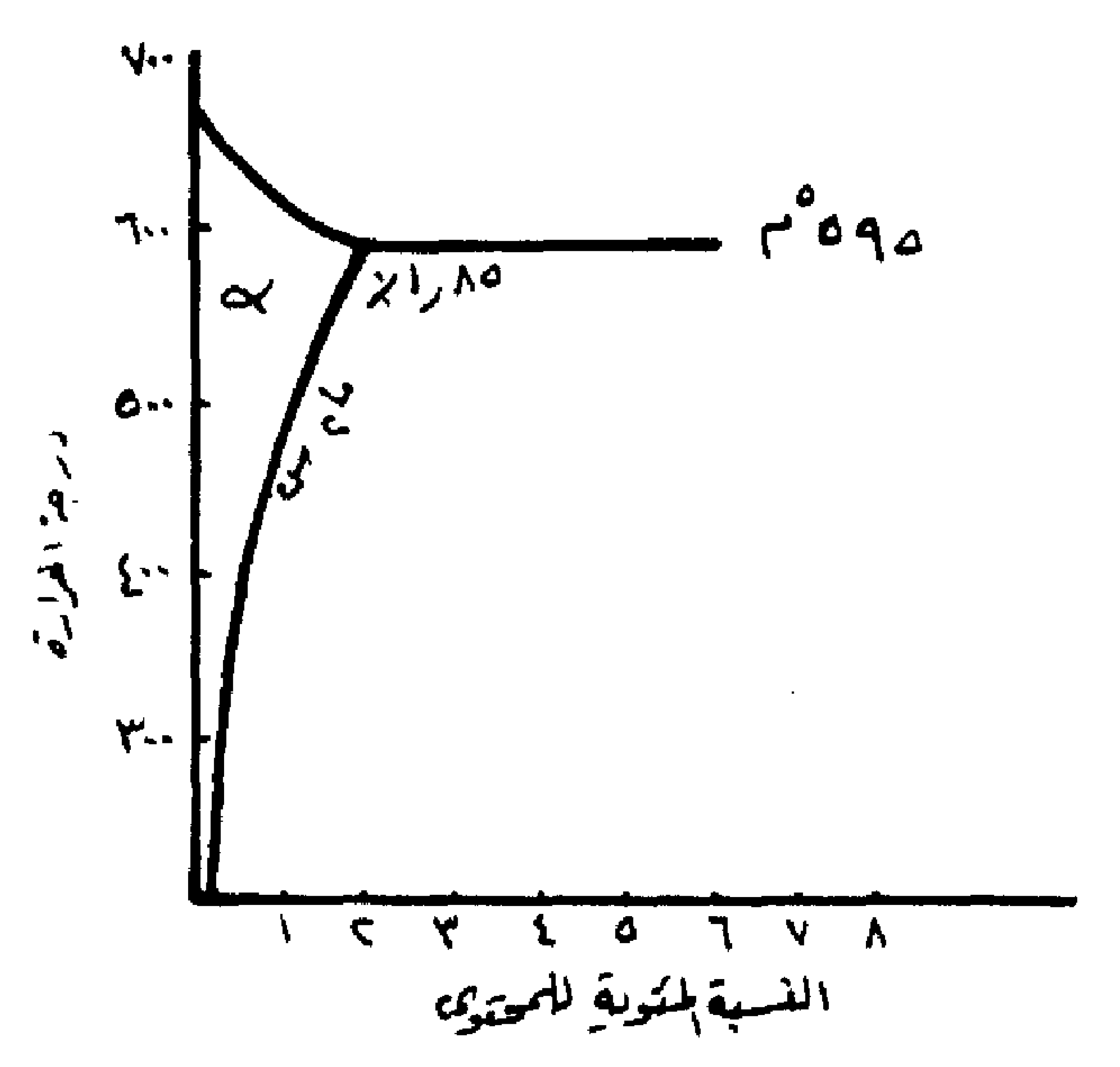
ويمكن الاسترشاد بالأشكال (٨٨ أ ، ب ، جـ ، د) حتى يمكن تفهم العملية بسهولة .

وتبين الجداول بالملحق رقم (٥) تفاصيل الوقت النمطى ودرجة الحرارة اللازمين للتحكم وضبط كلا العاملين السابقين . وبالطبع تحتاج السبائك المختلفة للألومنيوم ، إلى معاملات حرارية ذوات اختلافات طفيفة فيما بينها ، نتيجة للتأثيرات التراكمية للعناصر السبيكية المختلفة والمتعددة .

لندرس الآن منحنى التوازن للمجموعة الثنائية (ألومنيوم – نحاس) لنتفهم أهمية درجات الحرارة هذه ، وضرورة ظاهرة التصليد (أو الإصلاد) بالعتيق إزمانيا ، سواء كانت طبيعية أو اصطناعية ، للحصول على المتانة المثلى لسبائك الألومنيوم .

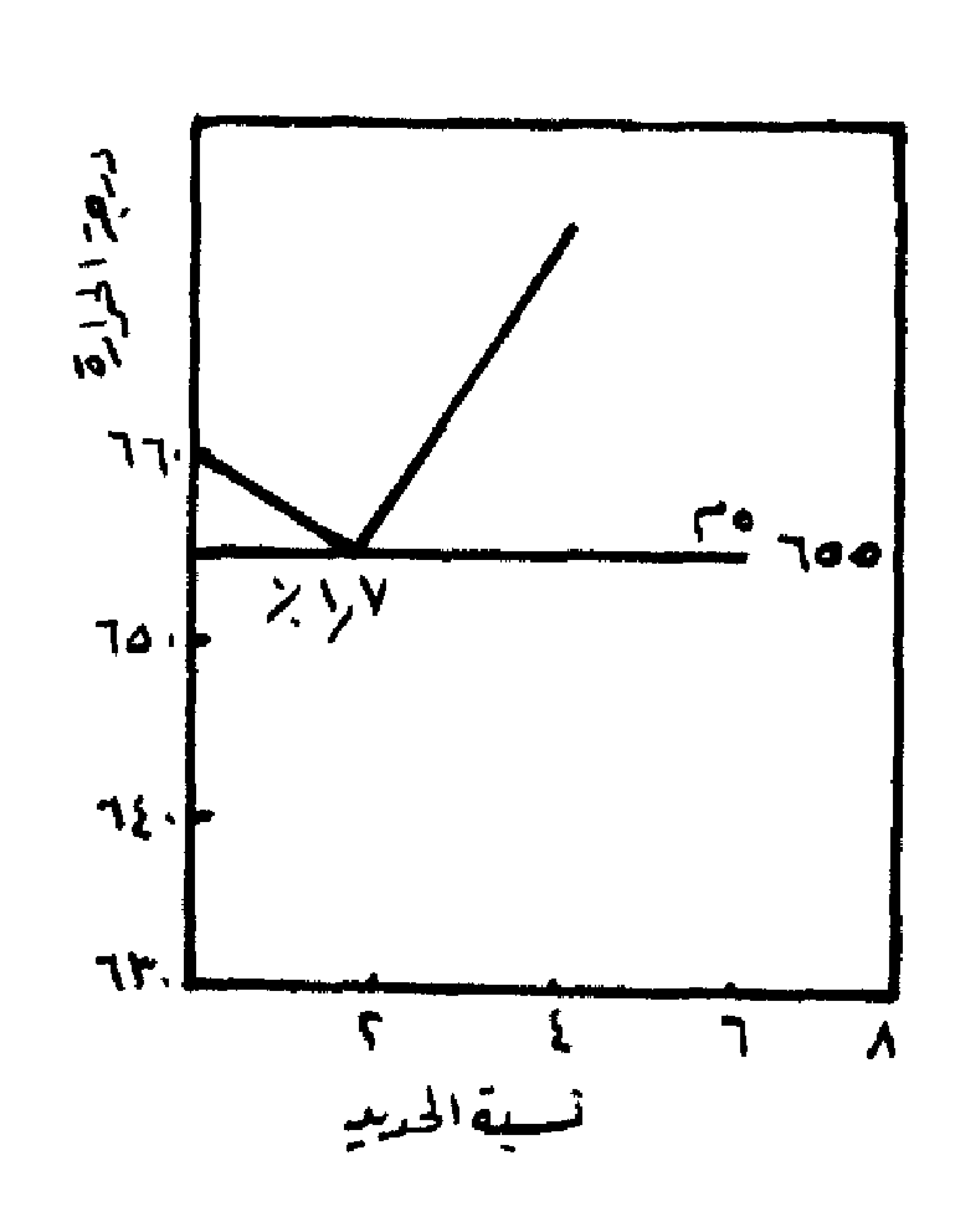
شكل (٨٨ ا)

رسم بيانى يبين توازن سبيكة الألومنيوم – الماغنسيوم – السليكون والتى تعطى زيادة كبيرة فى المتانة بعد تصليدها وتعتيقها



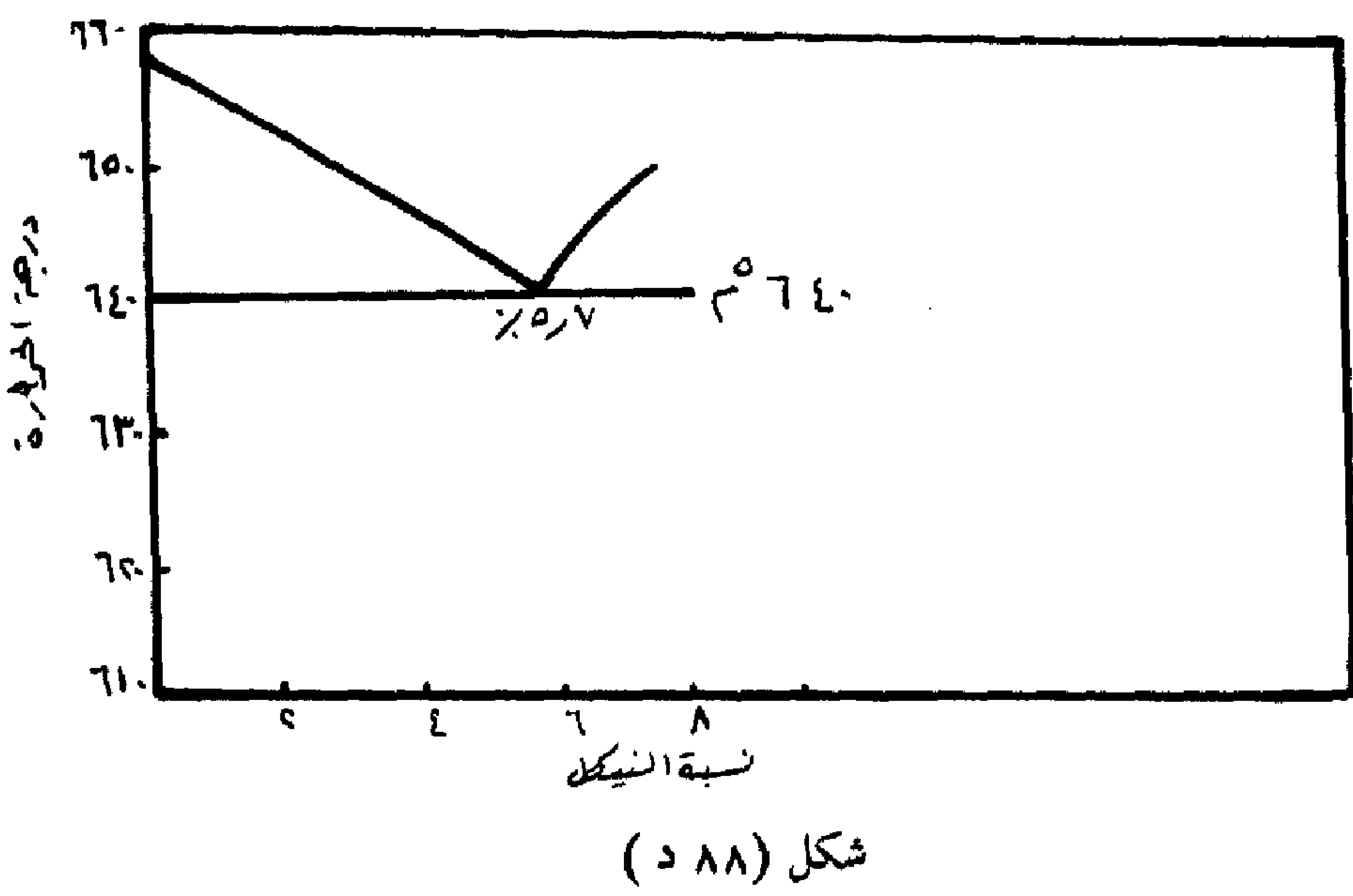
شكل (٨٨ ب)

رسم بيانى لتوازن سبيكة الألومنيوم – نحاس – ماغنسيوم والتى تعطى زيادة كبيرة فى المتانة بعد تصليدها وتعتيقها



شكل (٨٨ ج)

رسم بيانى يبين منحنى التوازن لتذاوب الحديد والألومنيوم (لا تعطى هذه السبيكة زيادة فى المتانة بعد تصليدها وتعتيقها) .

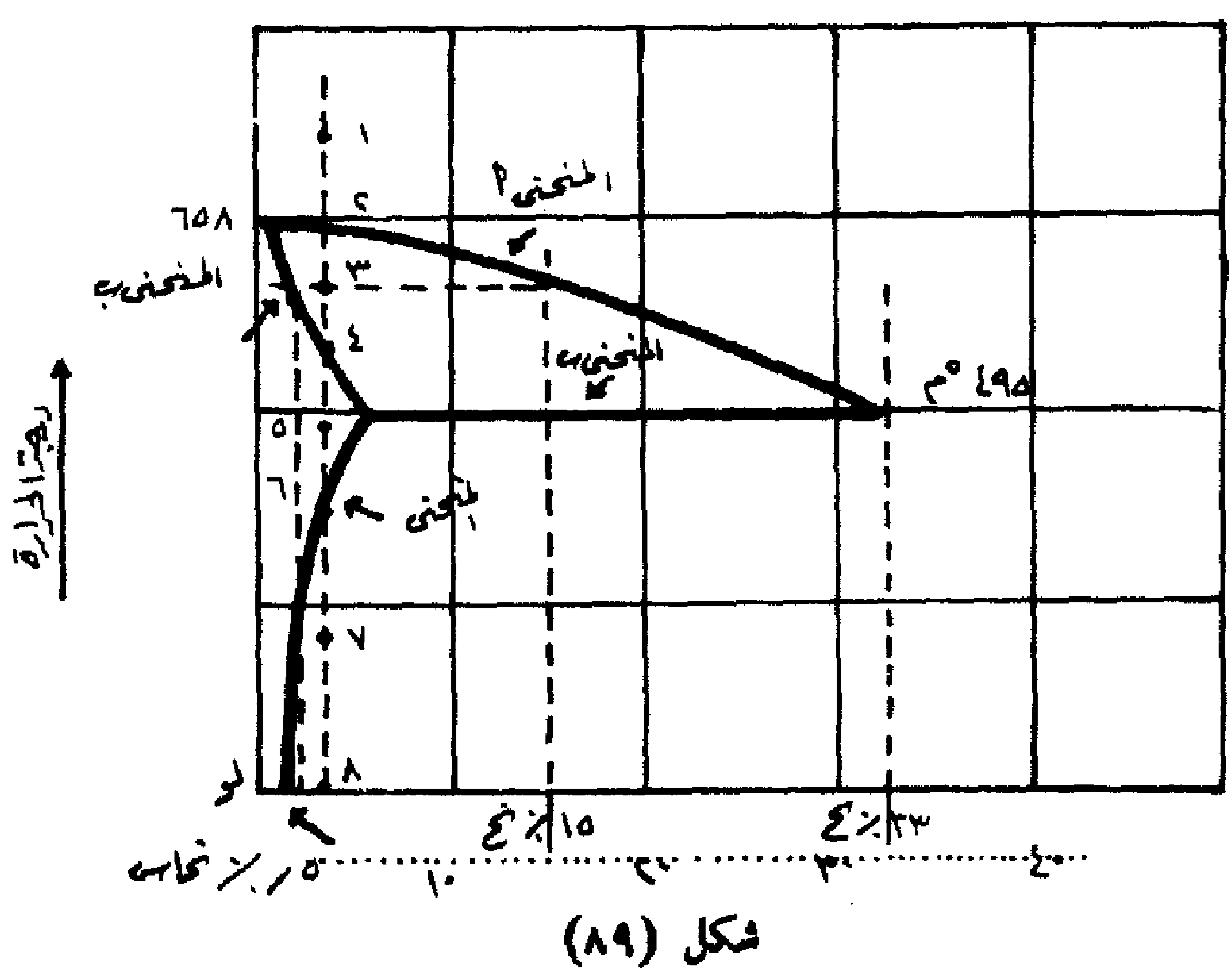


شكل (٨٨ د)

رسم بيانى يبين منحنى التوازن لتذاوب النيكل والألومنيوم (لا تعطى هذه السبيكة زيادة فى المتانة بعد تصليدها وتعتيقها)

ويهمنا فى هذا الشأن الجزء الأول من منحنى التوازن والمنتهى بالمركب اليوتكتى الذى تبلغ نسبة النحاس به ٣٣٪ ، الشكل (٨٩) .

لتكن نسبة النحاس فى السبيكة المختارة ٣٪ عند درجة حرارة الغرفة (٩٧ ٪ ألومنيوم) وتمثلها النقطة ٨ فى الرسم البيانى . لنتابع ماذا يحدث عند تسخين وتبريد هذه السبيكة . سنعتبر أولا ارتفاع درجة حرارة السبيكة خلال الخط الرأسى المنقط حتى النقطة (١) ولتكن



شكل (٨٩)

درجة الحرارة ٧٠٠°م . عند هذه الدرجة ، تتحول السبيكة كلية إلى مصهور يتذاوب خلاله النحاس تذاوبا تاما في الألومنيوم .

يترك هذا المصهور ليبرد ، إلى أن يصل إلى درجة الحرارة ٦٤٠°م التي تمثلها النقطة (٢) الواقعة على المنحنى أ . ويمثل هذا المنحنى درجة الحرارة التي يبدا عندها المعدن المنصهر في التجمد . والبلورات الأولى التي تبدأ في التجمد تكون من الألومنيوم النقي تقريبا ، وتكون بمثابة نوى أو نقط مركزية تبدأ حولها الحبيبات البلورية في التكون ، بتجمد بلورات أخرى عليها مع استمرار التبريد .

المحلول الجامد :

لنترك المصهور يبرد حتى درجة الحرارة ٦٣٠ °م التي تمثلها النقطة (٣) ، ثم نستبقيه عند هذه الدرجة من الحرارة ، لملاحظة ما يطرأ عليه من تغيرات . منذ بدأ المصهور في التجمد عند النقطة (٢) فإن السبيكة تظل متجمدة جزئيا ومنصهرة جزئيا . ولما كان الألومنيوم قد تبلور خلال المصهور مع قليل من النحاس ، لذلك تزداد نسبة النحاس المحتوى في الجزء من السبيكة الذي ما يزال منصهرا .

ولما كانت البيانات التي نقوم بدراستها من خلال هذا الرسم البياني قد تم الحصول عليها من خلال تجارب أجريت على مجموعات متكاملة من السبائك لها تركيبات كيميائية مختلفة ، كما هو معين على الإحداثي الأفقي (السيني) ، فمن الممكن إدراك نسبة النحاس في البلورات التي تجمدت ، وكذلك نسبة النحاس في الجزء الذي لا يزال منصهرا .

نمد الخط الأفقي المنقط على يسار النقطة (٣) ليلاقي المنحنى (ب) (الذي يمثل درجة الحرارة التي عندها يتم التجمد لمختلف التركيبات الكيميائية) في نقطة ، نرسم منها خطا رأسيا يلاقي المحور الأفقي في نقطة تبين نسبة النحاس في البلورات التي تجمدت ، وتبلغ نسبة النحاس كما في الرسم حوالي ١,٢٥٪ .

ولمعرفة نسبة النحاس في الجزء من السبيكة الذي لا يزال في حالة الانصهار ، يمد خط أفقي يمين النقطة (٣) ليقابل المنحنى (ا) (الذي يحدد بداية التجمد) في نقطة ، يرسم منها خط رأسي ليلاقي المحور الأفقي في نقطة تبين النسبة المطلوبة ، وهي كما في الشكل حوالي ١٥٪ .

وعند درجات الحرارة المنخفضة (بين النقطتين ٣ ، ٤) ، تزداد نسبة النحاس باطراد في البلورات التي تتكون خلالها . وعلاوة على ذلك ، فإن جزء السبيكة الذي لا يزال منصهرا يحتوي أيضا على نسبة أكبر من النحاس .

وهكذا ، فإنه عند أية نقطة تقع بين المنحنيين أ ، ب ، نحصل على خليط من الجسيمات الصلبة وبين المعدن المنصهر . وتتكون الجسيمات الصلبة من الألومنيوم متشابكة مع كية معينة من النحاس . وعندما يكون هناك فلز متذاوب فى آخر ، كما فى هذه الحالة ، توصف هذه المجموعة الثنائية (الصلبة) بأنها « محلول جامد » .

الإنتشــار :

فى الشكل (٨٩) ، عند النقطة ٤ ، تتجمد كل السبيكة تماما . وبمد خط أفقى إلى اليمين ليقابل المنحنى ا ، يتضح أن البلورات التى تجمدت أخيرا تحتوى على ٢٦٪ من النحاس ، فى حين أن البلورات الأولى التى تجمدت (عند النقطة ٢) تحتوى عليا على ألومنيوم نقى . وهكذا فإنه عندالنقطة (٤) تكون لدينا حبيبات يتكون مركزها من بلورات منالألومنيوم النقى تقريبا ، ويتكون سطحها الخارجى من بلورات نسبة النحاس بها ٢٦٪ . أما نسبة النحاس ككل ، أو كتوسط خلال الحبيبة البلورية ككل ، فهى ٣٪ .

وبالهبوط إلى درجة حرارة مادون المنحنى (ب) ، ولتكن ٥٥٠°م التى تمثلها النقطة (٥) ، وبترك السبيكة عند هذه النقطة لملاحظة ما يحدث ، نجد أنه عند أى وضع تحت النقطة (٤) تكون السبيكة جامدة ، ولكن ذلك لا يعنى أن التغيرات سوف تتوقف .

لسبائك الألومنيوم — النحاس أربعة أصناف (أطوار) : صنف السيولة التامة ، وهو ما يوجد أعلى المنحنى (ا) ، وصنف ثان يتكون من جسيمات صلبة منتشرة فى وسط منصهر ، ويقع هذا الصنف فى المنطقة بين المنحنى (ا) والمنحنى (ب) ، وصنف ثالث يقع تحت المنحنى (ب) وعلى يسار المنحنى (ﺟ) حيث تكون المادة صلبة، وصنف رابع يقع فى المنطقة تحت المنحنى (ب) وإلى يمين المنحنى (ﺟ) حيث تكون المادة صلبة ، ولكن فى صورة مختلفة كما سنرى فيما بعد .

لنرجع إلى الوراء قليلا ، لمشاهدة ماذا يحدث عند درجة الحرارة ٥٥٠° م التى تمثلها النقطة (٥) . عند هذه الدرجة العالية — نسبيا — منالحرارة، تواصل الظاهرة التى تعرف باسم « الانتشار » دورها ، ولكن بمعدل أسرع نسبيا . وهذا يعنى أن كية النحاس الكبيرة نسبيا والتى توجد قريبا من الحدود الحبيبية (الحدود الفاصلة بين الحبيبات) سوف تنتشر بسرعة إلى الداخل خلال كل أجزاء الحبيبة ، ولا ينقضى وقت طويل حتى تصبح كل بلورة فى الحبيبة محتوية على نفس الكمية من النحاس ٣٪ (كما فى هذا المثال) .

وعليه ، يمكن القول بأن النقطة (٥) هى المثلى بين النقطتين (٤) ، (٦)، حيث يتم انتشار النحاس خلال كل التركيب البنيانى ، إذا ما حافظنا على درجة الحرارة هذه لفترة زمنية كافية .

وبالطبع ، فإن الانتشار يتم سريعا عند درجات الحرارة العليا ، مما يعنى فترة زمنية أقل لإتمام الانتشار .

مرة أخرى تظهر أهمية عنصر الوقت كعامل هام فى حلقات المعاملة الحرارية .

والمنحنى (ج) هو الخط الذى يبين بداية تكوّن مركب يحتوى على النحاس والألومنيوم ، هو ألومنيد النحاس (نح لو٢) . ويبدأ هذا المركب فى الانفصال أو الترسب خلال المصهور عند أية درجة حرارة تحت النقطة (٦) التى تناظر ٤٩٥°م ، للسبيكة موضع دراستنا التى تحتوى على ٣٪ من النحاس . وقد سبقت دراسة موضوع الترسيب لجسم جامد من مادة صلبة (جامدة) .

عند النقطة (٧) ، تنفصل نسبة كبيرة من النحاس على هيئة ألومنيد النحاس . والواقع أنه عند درجة الحرارة هذه (حوالى ٤٥٥°م) ، يكون حوالى ٩٩٪ من المادة على هيئة سبيكة من الألومنيوم والنحاس تحتوى على ٢,٥٪ من النحاس ، أما باقى النحاس ، فيكون على هيئة جسيمات من ألومنيد النحاس ترسبت من سبيكة الألومنيوم والنحاس ، وانتقت مواضعها بين البلورات والحبيبات . أما الجزء المتبقى من المادة ، ويمثل ١٪ ، فيؤخذ على هيئة ألومنيد النحاس، وهو يحتوى على حوالى ٠,٥٪ من النحاس الكلى الموجود فى المادة ، حتى تظل المادة ككل محتفظة بنسبة النحاس الثابتة بها ، وهى ٣٪ ، إذ أنه لم تحدث إضافة أو إزالة أية كمية من النحاس بها .

وعند النقطة (٨) نجد أن الكثير من النحاس لا يزال مترسبا على هيئة ألومنيد النحاس .

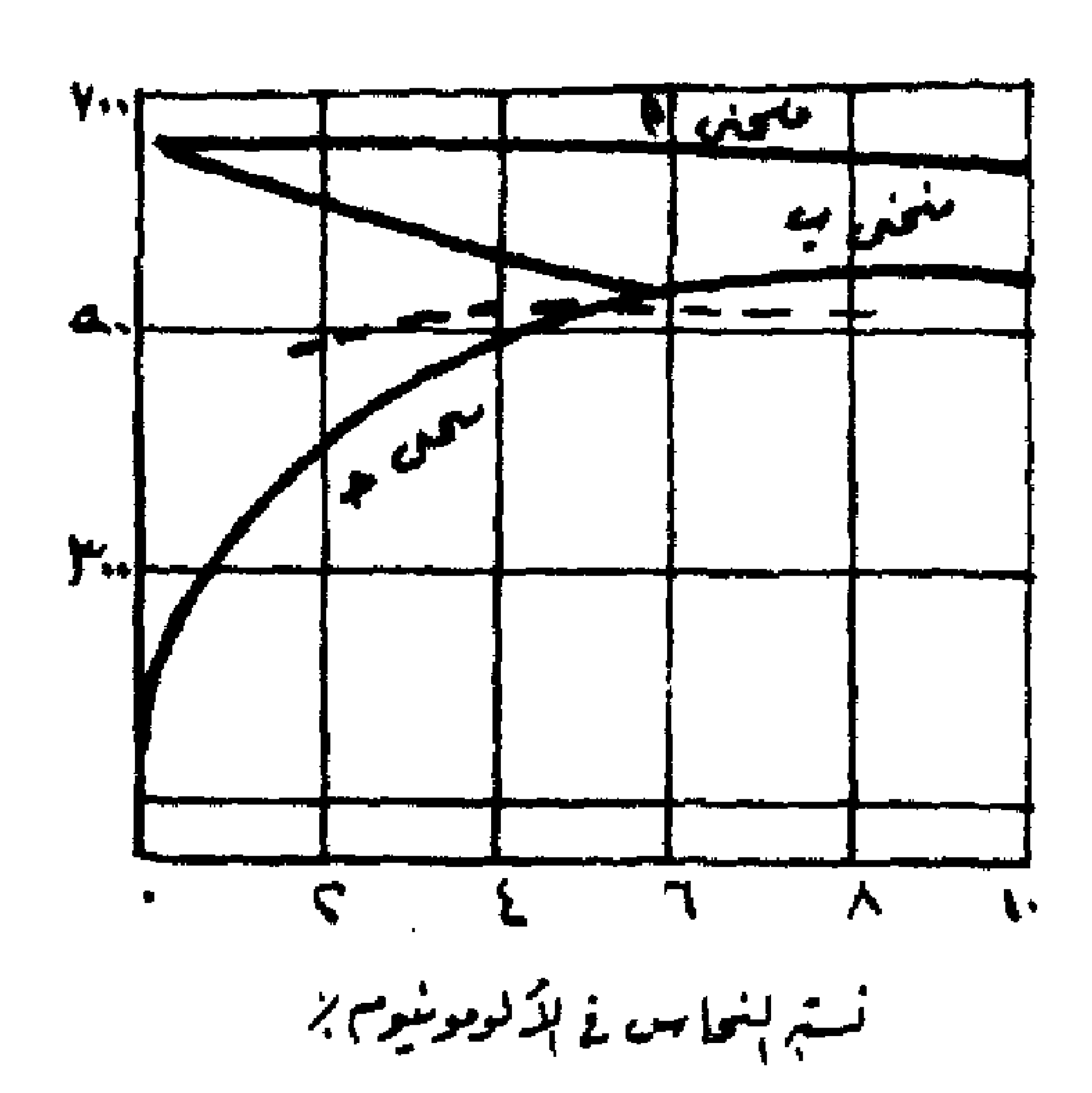
وللحصول على المتانة القصوى لسبائك الألومنيوم ، يلزم التحكم بعناية فى حجم وتوزيع الأنماط المترسبة ، إذ أنها هى التى تكسب السبيكة المتانة الإضافية كما سبق شرحه .

التسقية – طرق التحكم فى المعاملة الحرارية :

يجدر بنا الآن أن نبحث عن طرق المعاملة الحرارية المناسبة لتقوية سبائك الألومنيوم ، التفكير فى طرق التحكم المستخدمة للحصول على أحجام الجسيمات التى تترسب وكيفية توزيعها .

تنحصر الخطوة الأولى فى تسخين سبيكة الألومنيوم المعنية ، إلى درجة حرارة خاصة بها ، وتقع فى مكان ما بين المنحنيين (ب) ، (ج) على منحنى التوازن للسبيكة ، الشكل (٩٠) .

والهدف من هذه الخطوة هو تذويب المكونات التى ترسبت ، حتى يمكن ترسيبها بعد ذلك بالصورة التى نريدها تماما . لذلك يجب أن تظل السبيكة عند هذه الدرجة من الحرارة فترة كافية ، حتى نضمن ذوبان الراسب خلال كل أجزاء السبيكة . وإبقاء السبيكة عند درجة الحرارة الخاصة بها لفترة معينة كافية من الوقت يسمى « التشريب الحرارى » وهو يمثل الخطوة الثانية فى حلقات المعاملة الحرارية .



شكل (٩٠)

درجة حرارة التسخين اللازمة لإعداد السبيكة لتصليدها

والخطوة الثالثة هي تبريد الشغلة سريعا ، فى ماء بارد . وهذه العملية تسمى « التسقية » . والهدف من عملية الخفض المفاجئ لدرجة الحرارة بهذه الكيفية هو منع ترسب المكونات ، التى كان من الممكن أن تترسب ثانية لو تركت لتبرد ببطء .

ولا يتأثر التركيب البنيانى للسبيكة بعملية التسقية .

وينحصر الهدف الرئيسى لهذه الخطوات من المعاملة الحرارية فى خلق النوع الملائم من الأصناف المترسبة ، موزعة فى مكانها الصحيح من التركيب البنيانى للسبيكة .

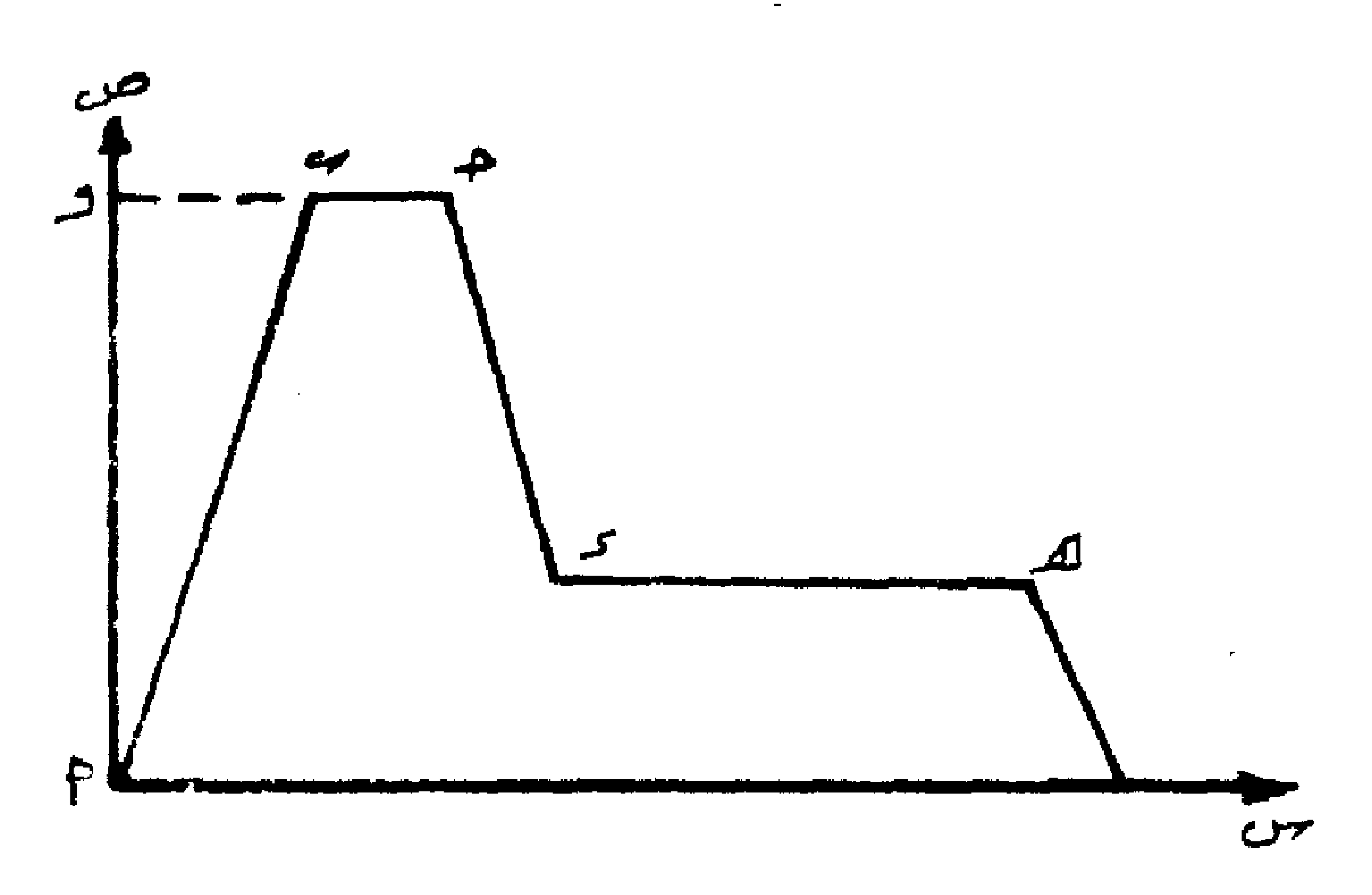
وتكون الرواسب المطلوبة فى هذه العملية ، من النوع الذى لا يساعد على انزلاق البلورات بعضها على بعض حتى يمكن الحصول على أقصى مقاومة لانزلاق البلورات . ويجب أيضا أن يكون توزيع هذه الرواسب منتظما وعلى هيئة جسيمات صغيرة للغاية ، تقع فيما بين البلورات .

التصليد بالتعتيق إزمانياً :

عند تبريد المعدن تبريدا سريعا إلى درجة حرارة الغرفة بتسقيته فى وسط مناسب ، تنشأ حالة تعرف « بالتشبع المفرط » حيث توجد فى الفلز بصورته الراهنة مكونات زائدة تظل متذاوبة فيه ، وتفوق ما يمكن إذابته منها عند تلك الدرجة من الحرارة . ومن الواضح أن مثل هذه الحالة بعيدة عن الاستقرار . وتكون النتيجة أن تبدأ هذه المكونات فى الترسب خلال سبيكة الألومنيوم .

وتحدث عملية الترسب هذه عند درجة حرارة الغرفة لمعظم سبائك الألومنيوم . وهذه الظاهرة تسمى « الأصلاد بالإزمان الطبيعى » ، وهى تحتاج إلى وقت طويل يصل إلى عدة أيام ، بل أسابيع . ولكن ثمة سبائك أخرى تحتاج إلى تسخينها قليلا لإتمام عملية الترسب فى فترة زمنية معقولة ، وعندئذ تسمى « الإصلاد بالإزمان الاصطناعى » . ويبين الشكل (٩١) تأثير

درجة الحرارة ووقت الإزمان فى زيادة متانة إحدى سبائك الألومنيوم . والنتيجة واحدة فى كلتا الحالتين ، حيث يتم الحصول على المكونات ، وقد ترسبت بأحجام مناسبة وجرى توزيعها بانتظام ، وبذلك نحصل على أقصى متانة ممكنة للسبيكة .



شكل (٩١) الإصلاد بالتعتيق إزمانيا لسبائك الألومنيوم

س : المحور الأفقى ويمثل الزمن — ص : المحور الرأسى ويمثل درجات الحرارة

اب : يمثل التسخين — ب حـ : فترة الإبقاء عند درجة الحراة المناظرة للنطقة و

حـ د : التبريد فى وسط مناسب — د هـ : فترة الإزمان .

وتجب الإشارة هنا ، إلى أن سبائك الألومنيوم التى يجرى تصليدها بهذه الطريقة يمكن تطريتها مرة أخرى ، لإمكانية تشغيلها بسهولة ، ويتم ذلك بتلدينها (تخميرها) .

ولكن مع ذلك ، فإن عملية التلدين (التخمير) وحدها لا تؤدى إلى الحصول على القابلية القصوى لتشغيل سبائك الألومنيوم التى تعرضت للمعاملة الحرارية ، إذ يلزم فى مثل هذه الحالات ، إجراء عملية إعادة تبلور .

والهدف من خطوات عملية التلدين التى يوصى بها ، هو ترسيب الأصناف « الإطوار » على هيئة جسيمات كبيرة الحجم خارج الحبيبات وخلال الحدود وليس داخلها ، فيما بين البلورات . وبهذه الطريقة يصبح المعدن « طريا » لسهولة انزلاق بلوراته خلال مستوياته الانزلاقية . ويحدث هذا التوزيع للأصناف (الأطوار) المترسبة ، بالإضافة إلى تأثير إعادة التبلور الذى سبق شرحه .

مما سبق يتضح جليا أنه من الضرورى اتباع الإرشادات التى تعطيها الشركات المنتجة بشأن خطوات المعالجة الحرارية لسبائك الألومنيوم بكل دقة ، حتى يمكن الحصول على الخواص المثلى

هذه السبائك . وإذا حدث لسبب أو لآخر ، أن حادت خطوات المعالجة الحرارية عن الأسلوب السليم ، تبرز صعوبات جمة كان من الممكن تلافيها .

تقسيم سبائك الألومنيوم (بالنسبة لاستجابتها للمعاملة الحرارية) :

تقسم سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل إلى قسمين رئيسين :

١ – سبائك لا تستجيب للمعاملة الحرارية .

٢ – سبائك تستجيب للمعاملة الحرارية .

أولا : سبائك لا تستجيب للمعاملة الحرارية : تتوقف متانة هذه السبائك على مقدار ماتتعرض له من تشغيل على البارد بعد آخر عملية تلدين (تخمير) . لذلك فإن الخواص التي تكتسبها مثل هذه السبائك ، تضيع إذا تعرضت لعملية تسخين لاحقة . ومن ثم فإن صفات السلع المصنوعة من هذه السبائك غير مضمونة .

ثانياً : سبائك تستجيب للمعاملة الحرارية : تحتوى هذه السبائك على عناصر أو مجموعة من العناصر أو المكونات تتذاوب بطريقة ملموسة عند درجات الحرارة العالية ، ولكن تذاوبها عند درجات الحرارة المنخفضة محدود . وتشتمل هذه السبائك على سبائك تحتوى على نسبة مرتفعة من النحاس ، وسبائك تحتوى على سليسيد المغنسيوم ، وسبائك تحتوى على نسبة مرتفعة من الزنك .

وتزداد متانة هذه السبائك أصلا بمعاملتها حراريا . وتتضمن العملية كاملة شقين :

أولهما : رفع درجة حرارتها حتى تتذاوب مكوناتها ، ثم تسقيتها سريعا فى وسط بارد .

وثانيهما : الترسيب إزمانيا (الإصلاد إزمانيا) عند درجة حرارة الغرفة أو أعلى منها قليلا.

وهناك من سبائك الألومنيوم ما يتصلد طبيعيا بالإزمان (بتعتيقه) ، أى أن التصليد يتم بالترسيب عند درجة حرارة الغرفة . ولكن الغالبية العظمى تحتاج إلى رفع درجة حرارتها حتى درجة معينة – خاصة بكل سبيكة بعينها – ثم ترسيب الأصناف الفائضة .

السبائك المكسية :

يعرض الكثير من سبائك الألومنيوم المتوافرة فى هيئة مكسية ، حيث يتم لصق طبقة من سبيكة إلى أحد سطحيها أو كليهما بسبيكة مختلفة . وبهذه الطريقة يمكن الحصول على مجموعة من الخواص المطلوبة .

المبادئ الأساسية لسبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل :

عند تبريد الألومنيوم المنصهر ، فإن درجة حرارته تنخفض حتى ٦٥٨° ، حيث تثبت – وقتيا – لانطلاق كية من الحرارة الكامنة تعادل الحرارة المفقودة ، ويبدأ المصهور فى التجمد على هيئة تفرعية تعرف بالدندريت ، كما فى الشكل (٥٥) . وبعد تجمد المصهور كلية تبدأ درجة الحرارة فى الانخفاض ثانية .

ومع ذلك فإن إضافة عناصر سبيكية تتذاوب مع الألومنيوم ، تغير من مسلكه فى أثناء تجمده من حالة الانصهار . فيبدأ التجمد عند درجة حرارة أقل ، كما تتجمد السبيكة تجمدا تاما عند درجة حرارة أقل . وتعرف درجتا الحرارة التى يبدأ التجمد عندهما وينتهى ، بدرجتى حرارة السيولة والجمود . وهما تتوقفان على كية ونوعية العناصر المختلفة التى تضاف إلى الألومنيوم .

وتحتوى الأجزاء التى تتجمد ، فى أول الأمر ، على كيات محدودة من العناصر السبيكية ، تتكون على هيئة حبيبات أو دندريت . وبانخفاض درجة الحرارة ، يتوالى تجمد طبقات تحتوى على كيات متزايدة من العناصر السبيكية ، ويكون تجمدها على الأجزاء الأولى . ويحتوى الجزء الذى يتجمد أخيرا على جزء كبير من العناصر السبيكية التى تضاف إلى الألومنيوم . وفى العادة تكون هذه المـادة صنفا قصيفا يعرف باليوتكتى ، ويتجمد بين الحبيبات .

ويؤدى وجود طبقة من مادة قصيفة بين الحبيبات السبيكية ، إلى نشوءنقط ضعف فى بنيتها. ولكن يمكن التغلب على هذه المشكلة بمعاملة السبيكة حراريا لتجنيس تركيبها البنيانى ، أو القضاء على هذا التركيب بتشغيله ميكانيكيا . وفى العادة يجرى تشغيل المعدن ميكانيكيا أول الأمر على الساخن ، حتى يكتسب أقصى لدونة ممكنة ، ويمكن بعد ذلك إحداث تشوهات لدنة على البارد أو الساخن ، تبعا للخواص المطلوبة .

وبعد القضاء على هذا التركيب البنيانى (الذى يشبه بنيان المصبوبة) تصبح السبيكة طيعة قابلة للتشكيل .

التشوه اللـدن :

يستخدم التشوه اللدن لتغيير التركيب البنيانى للسبيكة ، والذى يحاكى بنيان المصبوبات (المسبوكات) ، كما يستخدم لتشكيل السبائك بطرق التشكيل المعروفة ، وأيضا لتصليد وتقوية مجموعة السبائك التى لا تستجيب للمعاملة الحرارية .

التركيب البنيانى : عندما يتعرض فلز لإجهاد كاف ، تحدث انزلاقات خلال مستويات بلورية محددة . ويتوقف عدد المستويات التى يحدث خلالها الانزلاق ، على التركيب البلورى للفلز .

والألومنيوم ، شأنه كثيره من الفلزات سهلة التشغيل ، يتبلور على هيئة مكعب متمركز الوجه ، حيث يتوافر عدد من مستويات الانزلاق أكبر من أى تركيب بلورى آخر (انظر الشكل ٢) . ومثل هذه المعادن يمكن أن تتعرض لمزيد من التشغيل قبل أن تتصدع أو تنهار .

وعندما يتعرض الألومنيوم لتشوه لدن ، فإن الانزلاق يحدث خلال مستويات الانزلاق التى تكون مرتبة – فى الغالب – فى اتجاه القوة المسلطة . ولكن باستمرار الانزلاق ، يتغير وضع المستويات التى تعرضت للانزلاق بكيفية لا تكون مواتية للإجهاد الواقع عليها ، ومن ثم ينتقل الانزلاق إلى مستويات أخرى . وهكذا يتغير وضع مستويات الانزلاق تدريجيا ، إلى أن تستنفد كلية ، وعندئذ يصبح من الصعب تشغيل الفلز أكثر من ذلك .

الطاقة المحتواة : يعمل التشغيل على البارد على زيادة الطاقة الداخلية للمادة ، ومن ثم تصبح فى حالة غير مستقرة . وتتوقف كية الطاقة الزائدة المخزونة بالمادة ، على درجة التشغيل على البارد ، وعلى الخصائص المميزة لها .

ونتيجة للانزلاق خلال مستويات بعينها ، فإن هذه الطاقة الزائدة لا تكون موزعة بانتظام خلال كل المادة ، ولكنها تكون مركزة فى بعض النقط ، محدثة بها ارتفاعا كبيرا فى مستوى طاقتها ، ومن ثم فهذه النقط أقل استقرارا من أجزاء الفلز الأخرى ، وتعمل كنوى عند تكوين حبيبات جديدة أثناء عملية إعادة التبلور .

التأثير على الخواص الميكانيكية : بتشغيل الألومنيوم على البارد ، تزداد كل من مقاومة الشد ، ومقاومة الخضوع ، والصلادة ، ولكن تنخفض خواصه المطيلية مثل النسبة المئوية للاستطالة ، والمقاومة للصدمات ، والقابلية للتشكيل .

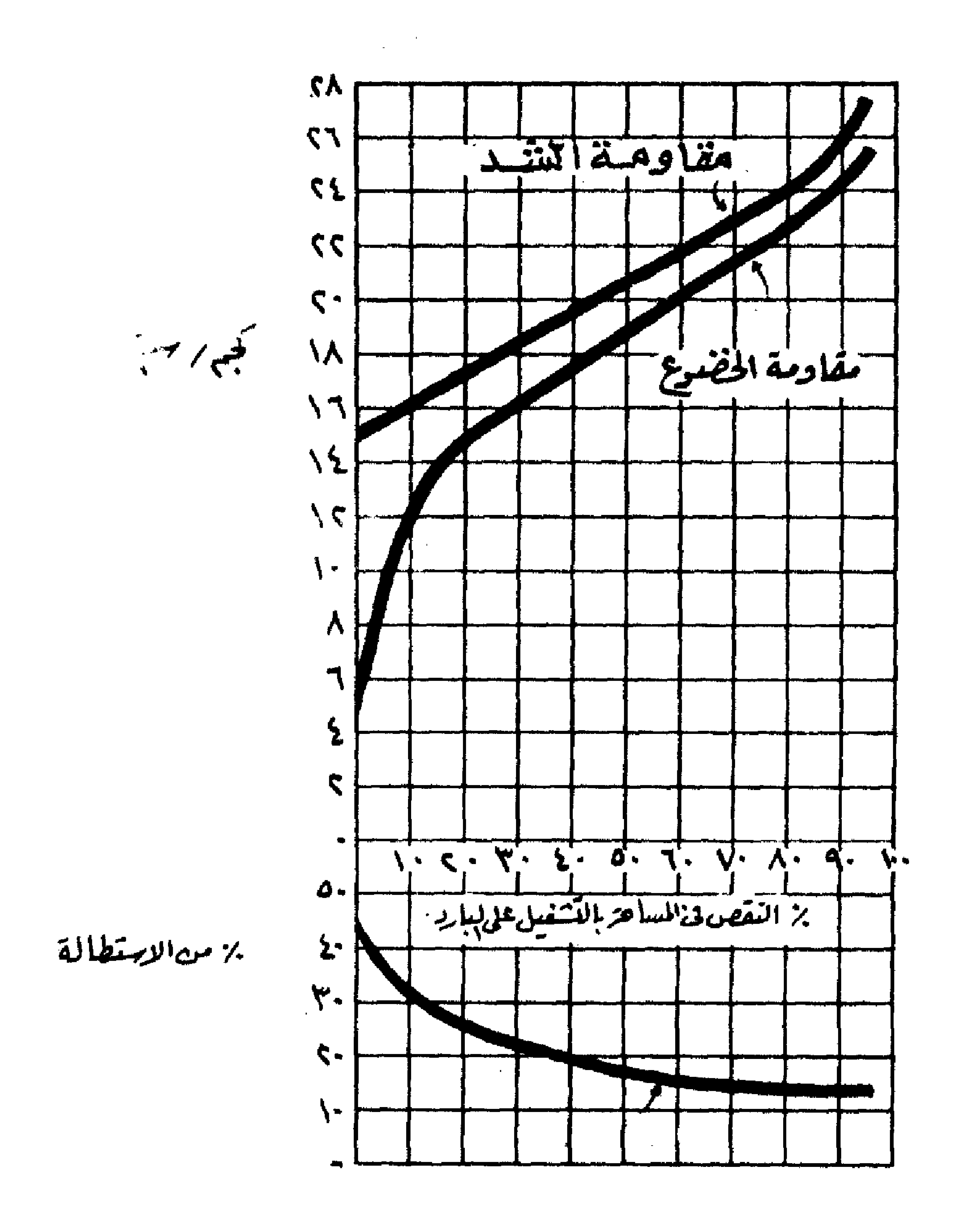
ويبين الشكل (٩٢) تأثير تشغيل سبائك الألومنيوم على البارد على كل من المقاومة الشد ، ومقاومة الخضوع ، والنسبة المئوية للاستطالة .

ظاهرة الإستعادة :

تحدث الاستعادة أثناء المراحل الأولى لعملية التلدين (التخمير) . وخلال هذه الفترة ، تزال بعض الإجهادات الداخلية مع استعادة جزء من المطيلية فى أثناء عمليات التشغيل على البارد .

ويتوقف مدى إزالة الإجهادات الداخلية للمادة خلال فترة الاستعادة ، على كل من الوقت ودرجة الحرارة . فى بعض السبائك ، خاصة السبيكة (١ حـ*) تلزم زيادة معدل التسخين لإنتاج حبيبات دقيقة بالسبيكة . فإذا كان معدل التسخين بطيئا ، فإن إزالة الإجهادات من النقط

(*) انظر الباب الخامس .



شكل (٩٢)
تأثير التشغيل على البارد على سبائك الألومنيوم

التي تتركز بها نتيجة للتشغيل على البارد ، قد يكون كافيا لإنتاج حبيبات كبيرة الحجم عند إعادة التبلور .

وظاهرة الاستعادة أهم ما يحدث خلال عملية تلدين (تخمير) مادة تعرضت للتشغيل على الساخن (أي تعرضت للتشويه اللدن فوق درجة حرارة إعادة التبلور) . وهو صحيح أيضا للمادة التي تعرضت لمقدار من التشغيل على البارد غير كاف لإعادة تبلورها .

إعادة التبلور :

تأثير إعادة التبلور : عند تسخين مادة سبق أن تعرضت للتشغيل على البارد إلى درجة حرارة مناسبة ، فإن الحبيبات المجزأة ، نتيجة لذلك التشغيل ، تقوم بدورها بتكوين حبيبات جديدة مستقرة وغير مجهدة ، يمكنها تقبل مقدار من التشغيل على البارد .

وتستغل النقط ذات الطاقة العالية التى نشأت عن عمليات التشغيل على البارد كنوى للحبيبات الجديدة . وتكوين الحبيبات الجديدة يزيل مقدارا محلوظا من تأثيرات التشغيل على البارد ، فتستعيد السبيكة خصائصها التى كانت تتمتع بها أصلا .

تأثير التشغيل على البارد : درجة التشغيل على البارد لها أهمية كبيرة . فإذا كانت غير كافية ، فإن إعادة التبلور لاتحدث . وإذا كانت كافية بالكاد لإعادة التبلور ، فإن المادة الناتجة سوف تحتوى على حبيبات كبيرة الحجم . ولكن وجود مقدار كاف من التشغيل على البارد ، يعمل على تشجيع تكوين حبيبات دقيقة .

القوانين التى تتحكم فى عملية إعادة التبلور : هناك عدة قوانين أساسية متعارف عليها تتحكم فى عملية إعادة التبلورللمادة ، منها :

١ — زيادة درجة التشغيل على البارد ، تقلل من درجة الحرارة اللازمة لإعادة التبلور .

٢ — زيادة الفترة الزمنية عند درجة الحرارة التى تسخن إليها المادة ، تقلل من درجة حرارة إعادة التبلور .

٣ — معدل التسخين إلى درجة حرارة إعادة التبلور ، وخلالها ، تؤثر على حجم الحبيبات المتكونة .

٤ — درجة التشغيل على البارد ودرجة الحرارة المستخدمة ، تؤثران على حجم الحبيبات المتكونة .

حجم الحبيبات المتكونة :

من المرغوب فيه عادة ، أن تكون المادة التى تتعرض لعمليات سحب عميق ، محتوية على حبيبات دقيقة أو متوسطة الحجم . فبالرغم من أن المادة التى تحتوى على حبيبات كبيرة الحجم ، تكون لها مقدرة على تقبل التشوه اللدن ، أكبر مما للمادة التى تحتوى على حبيبات دقيقة ، إلا أنه يكون لها ميل كبير للتشوه موضعيا ، مما ينتج عنه سطح غير مستحب المظهر يعرف « بقشرة البرتقالة » ، للشبه الكبير بينهما . وهذا هو السبب الذى يدعو إلى تفضيل المادة ذات الحبيبات الدقيقة عند إجراء عمليات السحب العميق .

العوامل التى تؤثر على حجم الحبيبات : يتوقف الحجم النهائى للحبيبات ، بعد إعادة تبلور المـــادة ، على حجم الحبيبات ومعدل نموها . وهما بدورهما يتأثران بعدة عوامل منها :

١ — الحجم الأصلى للحبيبات .
٢ — درجة التشغيل على البارد .
٣ — معـــدل التسخين .
٤ — درجة الحرارة النهائية .
٥ — الفترة الزمنية لاستبقاء المـــادة عند تلك الدرجة من الحرارة .
٦ — التركيب الكيميائى للمادة .

تلدين (تخمير) سبائك الألومنيوم :

يحتاج كثير من عمليات تصنيع سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل إلى عملية تلدين ، بهدف إزالة تأثيرات التشوه اللدن ، أو لتطرية السبيكة بعد معالجتها حراريا وإزمانها .

وتختلف هذه العملية فى تفاصيلها من سبيكة لأخرى ، ولـكن الهدف منها واحد ، هو الحصول على مادة تتسم بالقابلية المثلى للتشغيل .

سبائك الألومنيوم التى لا تستجيب للمعاملة الحرارية :

يجرى تلدين السبائك التى لا تستجيب للمعاملة الحرارية كالألومنيوم النقى (أ) ، والألومنيوم التجارى (ب) ، والسبيكة (١ ﺣ) ، والسبيكة (١٢ ج) ، والسبيكة (١٤ ﺣ) ، لإزالة تأثير الإجهادات التى تعرضت لهـا أثناء تشغيلها على البارد .

ويكفى لهذه السبائك إبقاؤها عند درجة حرارة ٣٤٠ ± ٥°م لمدة ساعة واحدة حتى تتشرب الحرارة تماما ، باستثناء السبيكة (١٢ ﺣ) التى يجب أن تتشرب الحرارة عند ٤٠٠°م ، وذلك لارتفاع درجة حرارة إعادة تبلورها .

وليس لمعدل تبريد هذه السبائك أية أهمية ، كما أن التسقية السريعة غير مطلوبة بالمرة ، تفاديا لأى إجهادات داخلية قد تنشأ . وقد وجد أن التبريد فى الهواء كاف تماما ويفى بالغرض .

سبائك الألومنيوم التى تستجيب للمعاملة الحرارية :

يجرى تلدين سبائك الألومنيوم التى تستجيب للمعاملة الحرارية ، لإزالة تأثيرات الإصلاد الانفعالى الذى ينتج عن التشوه اللدن ، أو لإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية .

ولإزالة الإصلاد الانفعالى نتيجة التشغيل على البارد ، يجرى تشريب السبيكة حراريا لمدة ساعة واحدة عند ٣٣٠ — ٣٥٠ °م يتبعه عادة تبريد فى الهواء ، وهو كاف . وهذا الإجراء كفيل بإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية ، إذا لم يكن مطلوبا تطرية السبيكة بأكبر قدر ممكن .

ولإزالة تأثيرات المعاملة الحرارية ، سواء كانت جزئية أو كلية ، يجرى التشريب الحرارى لمدة ساعتين عند ٤٠٠ - ٤٢٥ م ، يتبعها تبريد بمعدل لا يزيد على ١٠°م كل ساعة حتى ٢٦٠°م ، وذلك للحصول على سبيكة طرية طيعة .

كما أنه من ناحية أخرى ، فإن انتشار النحاس وغيره من العناصر السبيكية الأخرى يكون سريعا عند درجات الحرارة العالية ، ولذلك فهو يفسد خواص السبائك المكتسبة ، حيث ينتشر خلال طبقة الكساء التى تكون عادة من الألومنيوم النقى .

وفى هذا النوع من السبائك ، لا يكون لمعدل التبريد أهمية إلا عند استخدام عمليات التلدين لتذويب مكونات السبيكة ، عندئذ يجب ضبط معدل التبريد حتى يسمح بإعادة ترسيب المكونات .

المعاملة الحرارية لسبائك الألومنيوم كعملية تذويب لمكونات السبيكة فى محلول :

يجرى تصليد وتقوية مجموعة سبائك الألومنيوم التى تستجيب للمعاملة الحرارية ، خلال سلسلة من العمليات تشمل تسخين وتبريد المـادة فى الحالة الصلبة بصورة محكمة . والهدف من هذه العمليات ، هو التحكم فى حجم وتوزيع الأصناف المترسبة التى تكون قد تكونت نتيجة للعناصر السبيكية التى أضيفت إلى الألومنيوم ، والتى لهـا ذائبية تختلف باختلاف درجات الحرارة .

العناصر المتذاوبة : يتذاوب كثير من العناصر مع الألومنيوم ، وأكثر هذه العناصر أهمية من الناحية التجارية ، السيليكون ، والحديد ، والنحاس ، والمغنسيوم ، والنيكل ، والزنك ، والكروم ، وبعض هذه العناصر لا يتذاوب مع الألومنيوم إلا فى الحالة المنصهرة . وهناك عدد من العناصر له ذائبية محسوسة عند درجة الحرارة العادية (درجة حرارة الغرفة) ، فى حين توجد عدة عناصر تتذاوب بشراهة فى الحالة المنصهرة ، ولكنها تكون شحيحة الذوبان فى الحالة الصلبة عند درجات الحرارة المنخفضة .

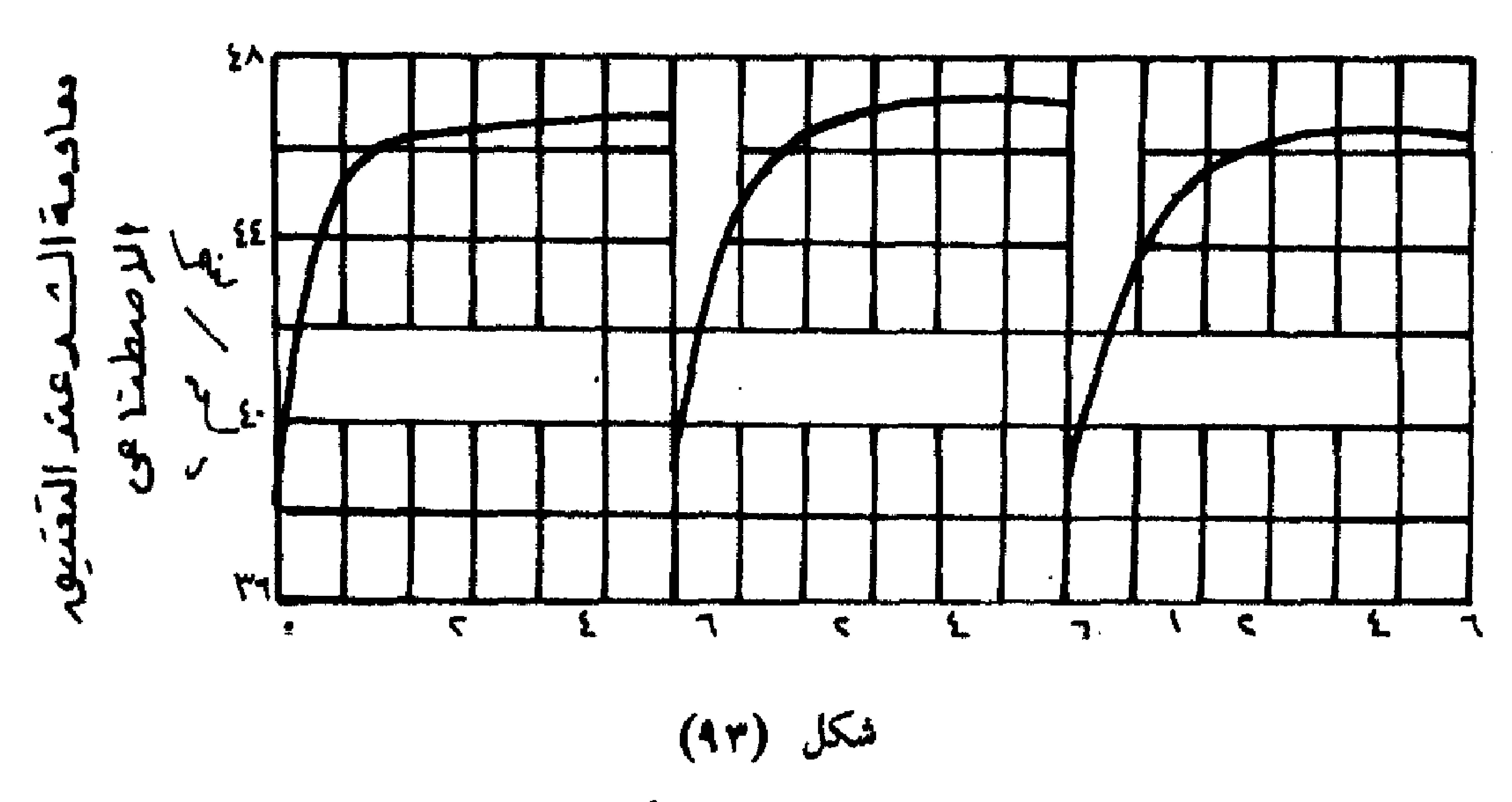
السبائك التى تستجيب للمعاملة الحرارية : تتكون مجموعة السبائك التى تستجيب للمعاملة الحرارية من عناصر أو مجموعة عناصر أو مكونات تقل ذائبيتها فى الحالة الصلبة بانخفاض درجة الحرارة . فإذا لم تبد هذه السبائك انخفاضا فى ذائبيتها بانخفاض درجة الحرارة ، فإنها تدرج مع مجموعة السبائك التى لا تستجيب للمعاملة الحرارية .

تذاوب المكونات فى محلول جامد :

تجرى معاملة حرارية ، بهدف تكوين محلول من المكونات المتذاوبة ، وإعاقة أو تأخير إعادة ترسيبها بصورة عاجلة ، وهى تسمى « المعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات » . وتتضمن خطوتين : تكوين محلول من العناصر المتذاوبة ، ويتم ذلك برفع درجة الحرارة ، تتبعها تسقية سريعة . ومتانة السبائك التجارية التى تستجيب للمعاملة الحرارية لا يكفى الحصول

عليها بتكوين محلول من المكونات ، بل يجب أن تكون مشفوعة بعملية أخرى تالية لها ، هى ترسيب المكونات كما ينبغى تعتيقها إزمانيا . وتؤدى الخطوة الأولى فقط إلى الحصول على أقصى متانة أو صلادة .

ويمكن تغيير مقاومة الشد ، بتعريض السبيكة التى أجرى تعتيقها لعملية استعادة بعد تقسيتها ، كما فى الشكل (٩٣) .



شكل (٩٣)

تغيير مقاومة الشد بالتعتيق الاصطناعى لإحدى سبائك الألومنيوم تعرضت مرتين لعملية استعادة بعد التقسية

الفرق بين التلدين (التخمير) والمعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات : تختلف عملية المعاملة الحرارية التى تجرى على سبيكة لتكوين محلول من المكونات بها ، عن عملية التلدين (التخمير) فى عدة نقاط ، بالرغم من أن عمليات الاستعادة ، وإعادة التبلور ، والنمو البلورى ، متشابهة فى كلا المعاملتين . ولكن عملية التلدين ، تتضمن درجة حرارة تعمل على إدماج البلورات أو السماح لها بالنمو لتكوين حبيبات كبيرة الحجم ، وليس لهذه العملية تأثير كبير فى الحد من عمليات التشوه بالتشغيل . فى حين نجد أن المعاملة الحرارية لتكوين محلول من المكونات ، تعمل على تذويب المكونات السبيكية فى الألومنيوم .

أسس اختيار درجة الحرارة : عند تسخين سبيكة من الألومنيوم تحتوى على عدة مكونات من العناصر المتداولة ، فإن درجة الحرارة التى تختار لمعاملة السبيكة حراريا عندها بهدف تكوين محلول من المكونات بها ، يجب بالضرورة أن تدانى نقطة الانصهار للمكون الذى له أقل درجة

حرارة انصهار فى المجموعة . وفى هذه السبائك ، يؤدى الإفراط فى التسخين ، ولو بدرجات قليلة ، إلى حدوث انصهار موضعى بمواقع معينة بالسبيكة . وإذا ما حدث ذلك، يلزم أعادة صهر السبيكة ثانية ، ثم تصنيعها من جديد .

وهناك العديد من السبائك، خاصة تلك التى يتم تقويتها أساسا بالمكون مغ٢ س (سليسيد المغنسيوم) ، يمكن معاملتها حراريا لتكون محلولا من مكوناتها عند درجات حرارة تزيد على اللازم دون خشية انصهارها . ومع ذلك فإن استخدام مثل هذه الدرجات من الحرارة ، قد يؤدى إلى التوائها واعوجاجها ، كما يشجع على تكوين طبقة سميكة من الأكسيد .

وبعد الحصول على محلول كيميائى يجمع شتى عناصر ومكونات السبيكة متداوبة بعضها مع بعض ، يلزم إجراء عملية تدعيم لهذه الحالة ، بتسقيتها سريعا لمنع إعادة ترسبها على الفور . وإذا حدثت إعادة ترسيب فى أثناء ذلك ، يتم الحصول على تقوية جزئية ، تتوقف على حجم وتوزيع الجسيمات المترسبة .

بالإضافة إلى ما سبق ، فإن ترسيب بعض المكونات خلال الحدود الفاصلة بين الحبيبات وخلال مستويات انزلاق معينة ، يقلل من مقاومة العديد من السبائك للتآكل الكيميائى بصورة خطيرة .

خطوات التقسية بالمعاملة الحرارية للسبائك :

تتضمن خطوات تقسية سبيكة للألومنيوم بمعاملتها حرارياً أربع خطوات :

- التسخين إلى درجة حرارة سبق تحديدها .
- التشريب الحرارى للسبيكة بإبقائها عند هذه الدرجة من الحرارة لفترة معينة من الوقت .
- التسقية السريعة عند درجات حرارة منخفضة نسبياً .
- التعتيق بالإزمان ، أو التصليد بالترسيب ، ويتمان تلقائياً عند درجة حرارة الغرفة ، أو نتيجة لانخفاض درجة حرارة المعاملة الحرارية .

ولقد سبق أن ذكرنا أنه إذا حدث التعتيق عند درجة حرارة الغرفة ، فإنه يسمى « التعتيق الطبيعى » ، فى حين أن عملية التعتيق عند درجات حرارة أعلى ، توفيراً لزمن التعتيق ، تسمى « التعتيق الاصطناعى » .

التسقية : بعد الحصول على مكونات سبيكة الألومنيوم فى حالة متداوبة على هيئة محلول جامد ، تسقى السبيكة فوراً لإعاقة أو تأخير الترسيب الفورى لهذه المكونات .

وهناك ثلاث طرق متميزة للتسقية ، يجرى استخدامها إستناداً إلى نوع السبيكة والخواص المطلوبة .

* **التسقية فى ماء بارد** : تجرى عادة تسقية الأجزاء والأدوات المنتجة بالدرفلة المسطحة ، وبطرق البثق ، والأنابيب ، والمطروقات الصغيرة ، وما شابه ذلك ، فى الماء البارد . ويجب ألا تزيد درجة حرارة الماء قبل التسقية على ٣٠°م ، كما يجب أن يكون حجم الماء كافياً ، بحيث لا يتعدى الارتفاع فى درجة الحرارة الناشئ عن التسقية ١٠°م . ومن ثم يتم الحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة ، مع أقصى مقاومة للتآكل الكيميائى .
* **التسقية فى ماء ساخن** : يمكن تسقية المطروقات الضخمة والقطاعات الثقيلة فى ماء ساخن (٦٥ — ٧٥°م) أو فى ماء يغلى . مثل هذا النوع من التسقية يقلل من حدوث أى تشويه فى المنتج ، كما يخفف من حدة التعرض لحدوث شدوخ فيه .
* **التسقية خلال تيار من الرذاذ** : يجرى تطبيق هذا النوع من التسقية على ألواح الألومنيوم المكسية والأجزاء المصنوعة منها ، وكذلك على القطاعات الثقيلة لجميع السبائك تقريباً ، حيث تعرض لتيار سريع من الماء المدفوع على هيئة رذاذ .

ولكن هذا النوع من التسقية لا يطبق على السبيكتين (٦ ــ) ، (٨ ــ) ، حيث تتأثر مقاومتهما للتآكل الكيميائى كثيراً نتيجة لذلك .

المشاكل التى تنشأ عن المعاملة الحرارية :

التسخين المفرط : ويعرف أيضاً بالإنصهار (ويشمل الانصهار اليوتكى ، الانصهار الجزئى ، الانصهار خلال الحدود الفاصلة بين الحبيبات) . ويؤدى الافراط فى تسخين السبيكة إلى انخفاض مطيليتها ، وفى بعض الحالات يؤدى إلى نشوء بثور سطحية وانخفاض متانة السبيكة ، كما يشجع على حدوث شدوخ فى أثناء التسقية .

الأكسدة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة : تؤدى هذه الأكسدة إلى تدهور السبيكة . وهى لا تحدث عادة إلا للمنتجات المكشوفة التى يتم تسخينها فى أفران هوائية (أفران الوقود)* .

الشدوخ نتيجة التسقية : تحدث هذه الشدوخ عادة أثناء أو بعد تسقية القطاعات الثقيلة أو القطع التى بها تغيرات حادة فى مقاطعها . وتكون غالباً نتيجة إجراء التسقية بمعدل أسرع من اللازم .

التشوه والانفعال الزائدان : ويحدثان نتيجة الآتى :

(ا) وجود تباين زائد فى درجات الحرارة بمختلف مساحات السبيكة فى أثناء فترة التسخين ، نتيجة عدم التوزيع الحرارى المنتظم فى فرن التسخين*.

(ب) التعليق الخاطئ للشغلة أثناء فترة التسخين .

(جـ) استخدام التسقية بصورة عنيفة .

(*) انظر الباب الخامس .

الباب الخامس

اجهزة التسخين فى صناعة الألومنيوم

يتناول هذا الفصل أجهزة التسخين التى يجرى استخدامها صناعياً فى أغراض إجراء المعاملات الحرارية للألومنيوم وسبائكه ، وفيها ترفع درجة حرارة مشغولات الألومنيوم إلى ما دون درجة حرارة خطوط السيولة للسبائك المختلفة المؤلفة لها ، والتى يمكن تحديدها بمعرفة التركيب الكيميائى للسبيكة ، ومنحنى الاتزان الخاص بها .

ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلى قسمين من الأفران :

١ - **أفران الوقود** : وفيها يستخدم الوقود فى صورتيه الغازية والسائلة لتوليد كمية من الحرارة تكفى لرفع درجة حرارة جو الفرن إلى درجة الحرارة المطلوبة . وينتج احتراق الوقود عن أكسدة سريعة للجزء القابل للاحتراق من مادة الوقود فتتولد الحرارة . وعندما يتم خلط مادة الوقود بالنسبة الصحيحة من الأكسيجين الموجود بالهواء الجوى ، تتخلف عن عملية الاحتراق النواتج الآتية : ثانى أكسيد الكربون ، وبخار الماء ، بالإضافة إلى غاز النتروجين الموجود أصلا فى الهواء . ويعتبر غاز الأكسيجين فى الغازات العادمة ، دليلا على دفع الهواء بكمية أكبر مما يلزم نظرياً (بهواء زائد) ، كما يعتبر وجود غاز أول أكسيد الكربون فى الغازات العادمة ، مؤشراً على زيادة كمية الوقود عن كمية الهواء المناظرة لها .

٢ - **أفران كهربائية** : وفيها تستغل الطاقة الكهربائية أساساً للحصول على كمية الحرارة المطلوبة لأغراض التسخين . وتتميز هذه الأفران الكهربائية بنظافة استخدامها ، ودقة التحكم فى كمية الحرارة المتولدة ، مما يؤدى بالتالى إلى الحصول على نتائج باهرة يمكن التعويل عليها .

وفيما يلى سنتناول أفران التسخين الكهربائية بشىء من التفصيل ، لتنوعها وأهميتها الكبيرة فى عمليات المعاملة الحرارية لمنتجات الألومنيوم وسبائكه .

أفران التسخين الكهربائية :

يمكن تقسيم أفران التسخين الكهربائية تبعاً للوسط الذى يتم خلاله تسخين المادة أو تبعاً لتصميم غرفة التسخين ، حيث الترتيبات الكهربائية ، وطريقة تحريك الشغلة خلال الفرن .

وفى الصناعات المعدنية - كما هى الحال فى صناعة الألومنيوم - يكون وسط التسخين عادة غازاً أو مصهوراً لأحد الأملاح ، ويتم تسخين الوسط ، خلال وحدات تسخين ترتفع درجة حرارتها نتيجة

لمقاومتها لسريان التيار الكهربائى . ويجرى تسخين الملح المنصهر بواسطة إلكترود أو أكثر يغمر فيه .

أولا : أفران التسخين بالمقاومة الكهربائية : يتكون فرن المقاومة أساسا من غرفة تسخين تشمل عدة عناصر التسخين بالمقاومة ، قد تقام على جدران الفرن ، أو فى سقفه ، أو على أرضيته ، أو ببابه ، استنادا إلى نوع التبطين ، ووسائل التحكم فى درجة الحرارة ، وأسلوب تعليق قطع المشغولات داخل الفرن .

وتنتقل الحرارة إلى الشغلة بطرق الإشعاع والحمل ، وكلما كانت درجة الحرارة عالية ، كلما زادت كمية الحرارة المشعة .

وتستخدم أفران التسخين بالمقاومة فى أغراض التخمير والتصليد ، وتلبيد المنتجات المصنوعة من مسحوق الألومنيوم وسبائكه .

وتصنع وحدات التسخين المستخدمة فى أفران التسخين بالمقاومة من شرائط معدنية ، أو قضبان فلزية كسبائك الفولاذ مع النيكل والكروم ، كما تصنع من مواد لا فلزية مثل كربيد السليكون ، الذى يصنع عادة على هيئة قضبان مستديرة المقطع .

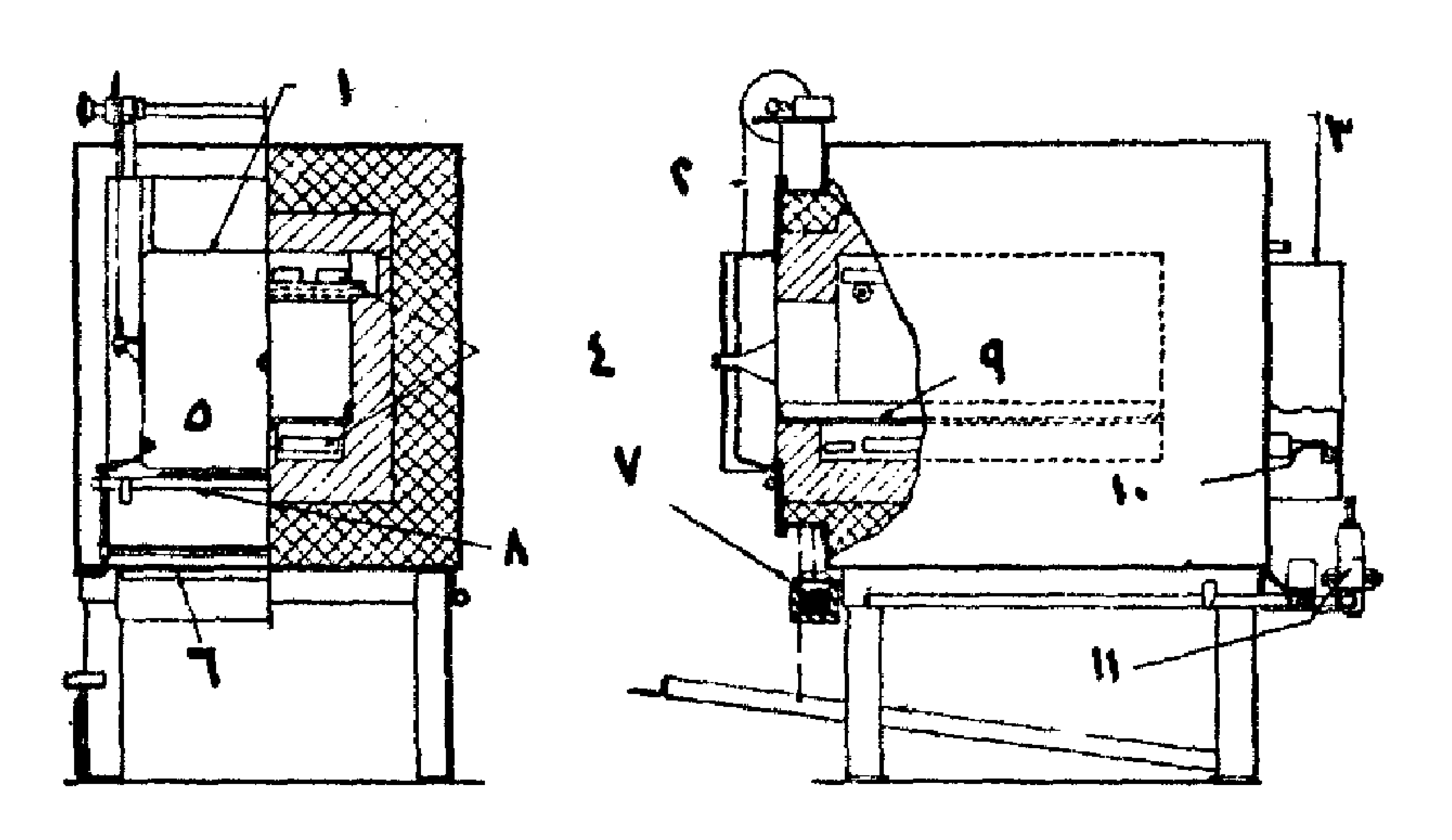
ولتصميم عناصر التسخين المعدنية أهمية كبيرة ، ولذلك فهو يتضمن كيفية تحميلها ، ووضعها والمسافات الفاصلة بينها ، وسمك المادة التى تستخدم فى صنع هذه العناصر ، وكمية الحرارة المبذولة لوحدة المساحات .

ويتحدد عمر عناصر التسخين إلى حد بعيد ، بالسمك ، وبأقصى درجة حرارة تصل إليها .

أنواع الأفران : توجد عدة أنواع نمطية من الأفران ، تتوقف الاختلافات جذريا على متطلبات شحن المشغولات المعدنية فى الفرن وتفريغها .

ويتوقف اختيار سعة ونوع الفرن لتطبيق معين ، بصفة مبدئية على عمليات التسخين المطلوبة ، ومعدل الإنتاج المتوقع . ومن أشهر هذه الأفران الطرز الآتية :

١ — فرن ذو صندوق : (الشكلان ٩٤ ، ٩٥) ويشتمل هذا الطرز من الأفران على غرفة تسخين على هيئة صندوق ، له باب واحد أو بابان متقابلان كما يشتمل على حجرة تعلق فيها المشغولات المطلوب تسخينها . وقد يزود هذا الطراز من الأفران بغرفة تبريد ، كما قد تلحق به مروحة تساعد على التسخين بالحمل القسرى للهواء الساخن . ويجرى شحن وتفريغ القطع التى يراد معاملتها يدويا ، وقد تشحن كل قطعة على حدة ، أو تشحن كلها دفعة واحدة فى وعاء مناسب .



شكل (٩٤) فرن ذو صندوق

١ – باب معزول حراريا ومصنوع من الحديد المصبوب

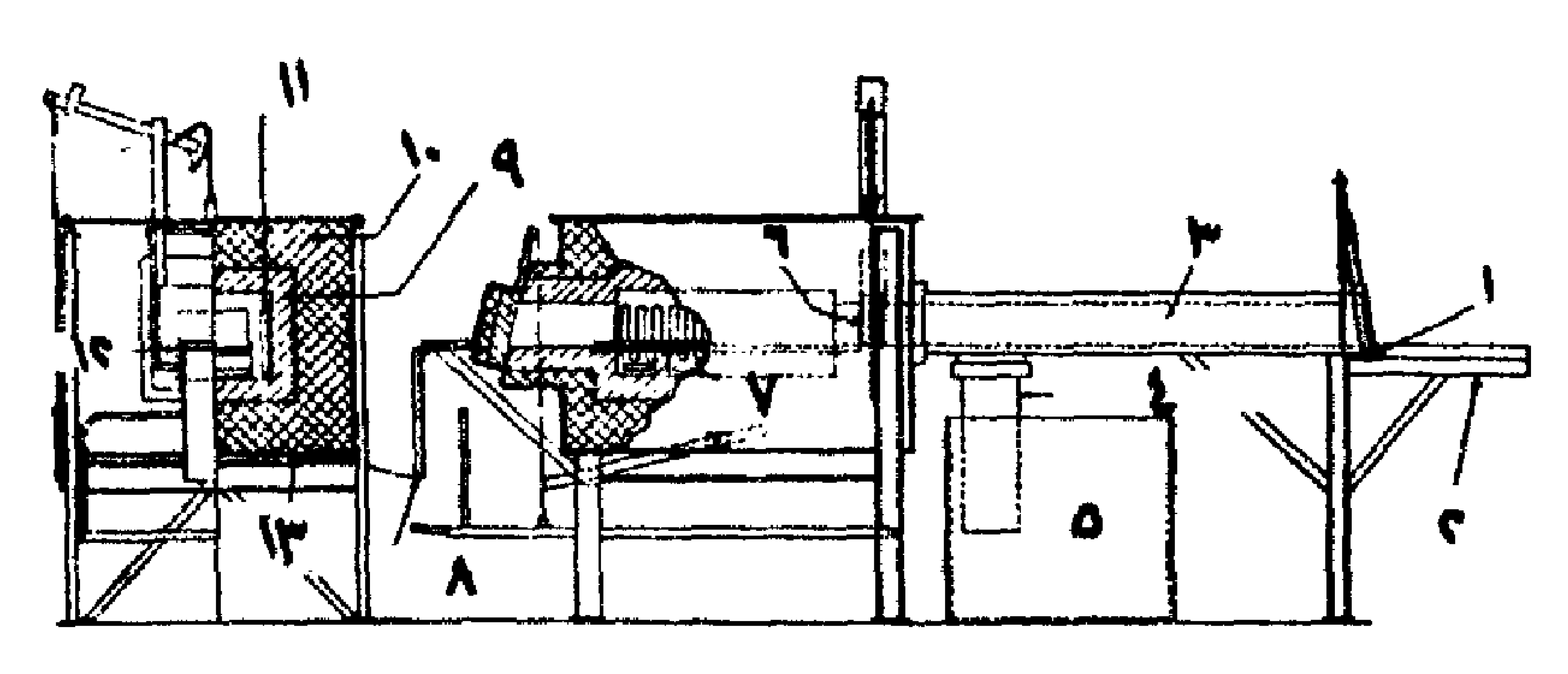
٢ – سلسلة ذات دلفينات ٣ – حاجز وقاية طرفى

٤ – عناصر التسخين ٥ – إضاءة

٦ – غلاف فولاذى لمنع تسرب الغاز ٧ – ثقل موازن لضبط الباب

٨ – ستارة المشعل ٩ – قاعدة المجمرة

١٠ – مانعات تسرب الغاز من خلال عناصر التسخين ١١ – جهاز خلط الهواء مع الغاز



شكل (٩٥) فرن ذو صندوق وتلحق به غرفة تبريد

١ – ستارة المشعل ٢ – نضد التفريغ

٣ – غرفة التبريد ٤ – مسقط التسقية

٥ – حوض التسقية ٦ – الباب المركزى

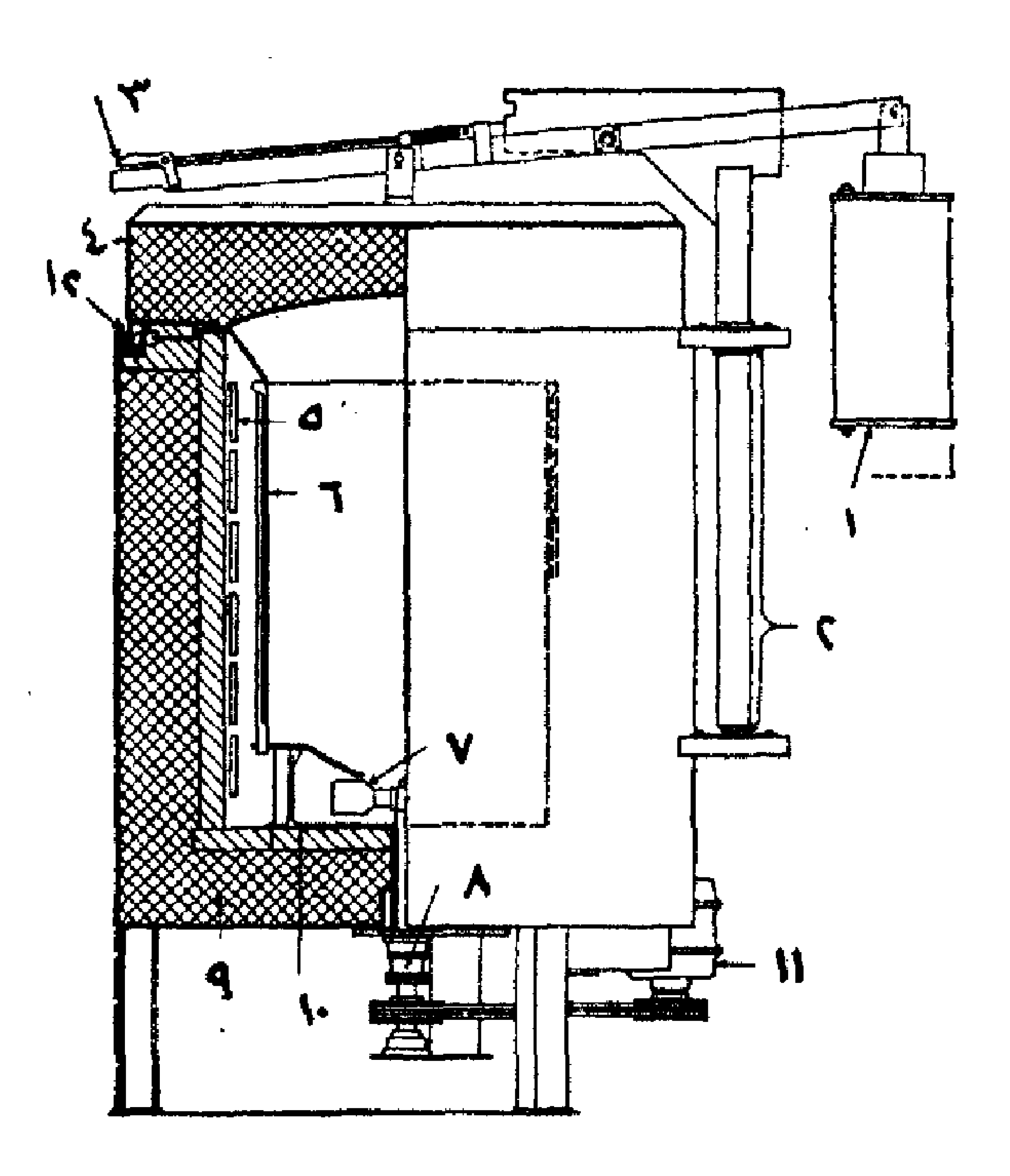
٧ – عناصر التسخين الأرضية ٨ – نضد الشحن

٩ حراريات عازلة ١٠ – مواد عازلة للحرارة

١١ – عناصر تسخين ١٢ – القضبان

١٣ – دثار لمنع تسرب الغاز

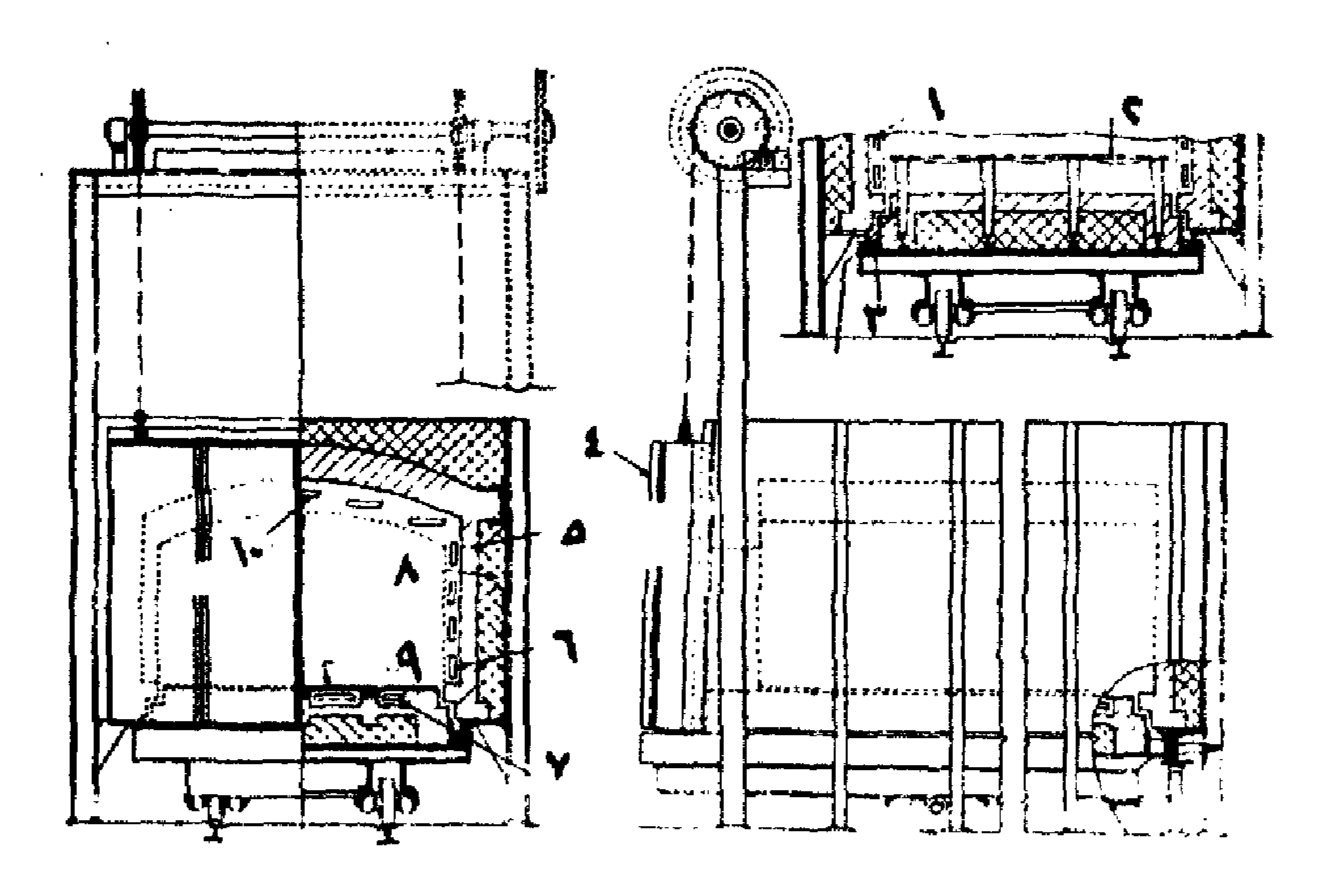
٢ – فرن ذو جب : (الشكل ٩٦) قد يكون هذا النوع من الأفران على شكل أسطوانى ، أو على شكل متوازى مستطيلات ، وله فتحة بأعلاه ، وله غطاء معزول حراريا . وقد تجهز مجمرة الفرن بمروحة عند قمته أو بأسفله عند القاع ، تعمل على سرعة التسخين بتيارات الحمل القسرية . وتحمل المشغولات الّتى يراد معاملتها حراريا على عارضة عند القاع ، أو قد تعلق من سقف الفرن .



شكل (٩٦) فرن ذو جب

١ – ثقل موازن للغطاء
٢ – محامل صامدة للإحتكاك
٣ – ذراع تشغيل الغطاء
٤ – غطاء
٥ – عناصر التسخين
٦ – عارضة
٧ – مروحة
٨ – محمل ومبيت المحمل
٩ – عازل
١٠ – طوب حرارى عازل
١١ – موتور
١٢ – مانع التسرب

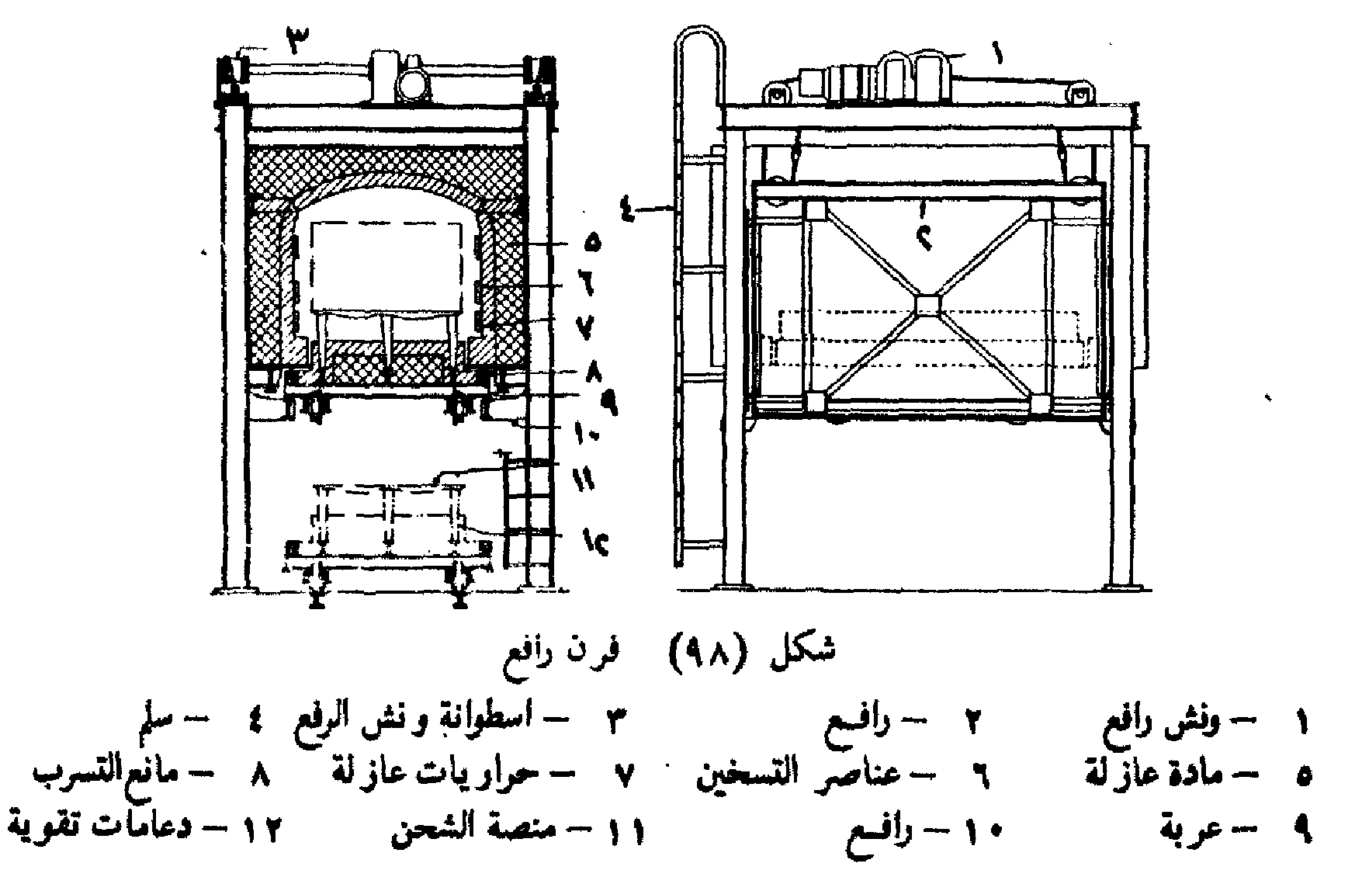
٣ – فرن ذو عربة : (الشكل ٩٧) يتألف الفرن ذو العربة أساسا من صندوق ضخم ، وترتفع مجمرته على عجلات تمكنها من الحركة لشحن وتفريغ المشغولات التى يراد تسخينها .



شكل (٩٧) فرن ذو عربة

١ – عناصر التسخين ٢ – مجمرة
٣ – مانع التسرب ٤ – باب
٥ – حراريات عازلة ٦ – عناصر تسخين معلقة بالحائط
٧ – عربة عناصر التسخين ٨ – مادة عازلة
٩ – ألواح المجمرة ١٠ – عناصر التسخين العلوية

٤ – فرن رافع : (الشكل ٩٨) يصمم الفرن الرافع عادة على شكل متوازى مستطيلات ،



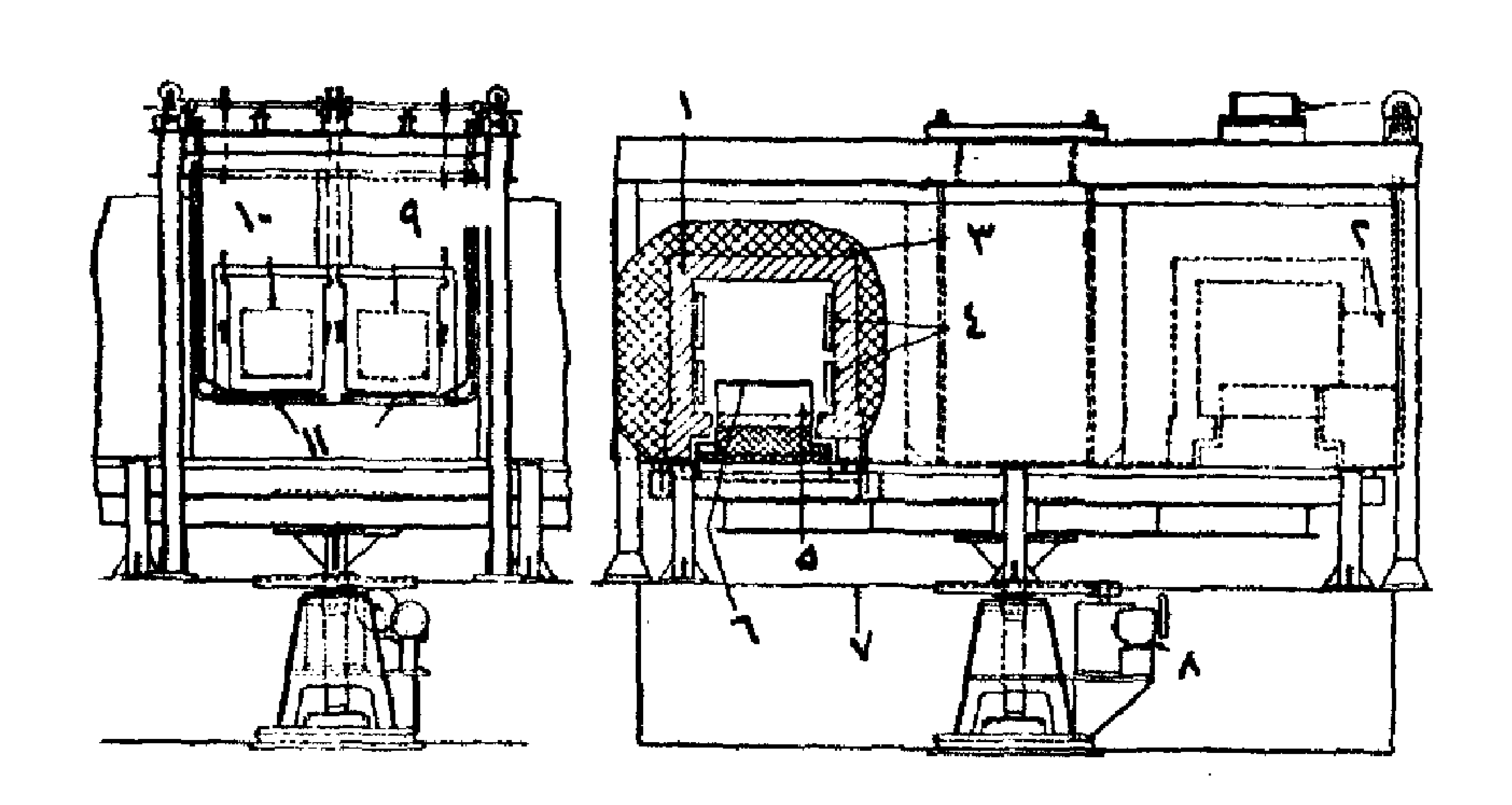
شكل (٩٨) فرن رافع

١ – ونش رافع ٢ – رافـع ٣ – اسطوانة ونش الرفع ٤ – سلم
٥ – مادة عازلة ٦ – عناصر التسخين ٧ – حراريات عازلة ٨ – مانع التسرب
٩ – عربة ١٠ – رافـع ١١ – منصة الشحن ١٢ – دعامات تقوية

وفى بعض الأحيان ، يصمم على هيئة أسطوانة . وقد يزود بمروحة أو مجموعة من المراوح التى تساعد على سرعة التسخين بتيارات الحمل القسرى . وتحمل المشغولات على عربة ، حيث ترفع إلى داخل غرفة التسخين ، وفى نفس الوقت تنزل عربة أخرى بمشغولات جرى تسخينها .

ويزود الفرن بحوض أسفله يحوى كية من الماء ، لأغراض التسقية السريعة لمشغولات الألومنيوم الساخنة .

٥ – فرن ذو مجمرة دوارة : (الشكل ٩٩) تصمم مجمرة هذا الفرن على شكل حلقة كبيرة ، وتتمكن من الدوران حول محورها داخل غرفة التسخين . وقد يزود الفرن بمروحة تساعد على سرعة التسخين بتيارات الحمل القسرى .



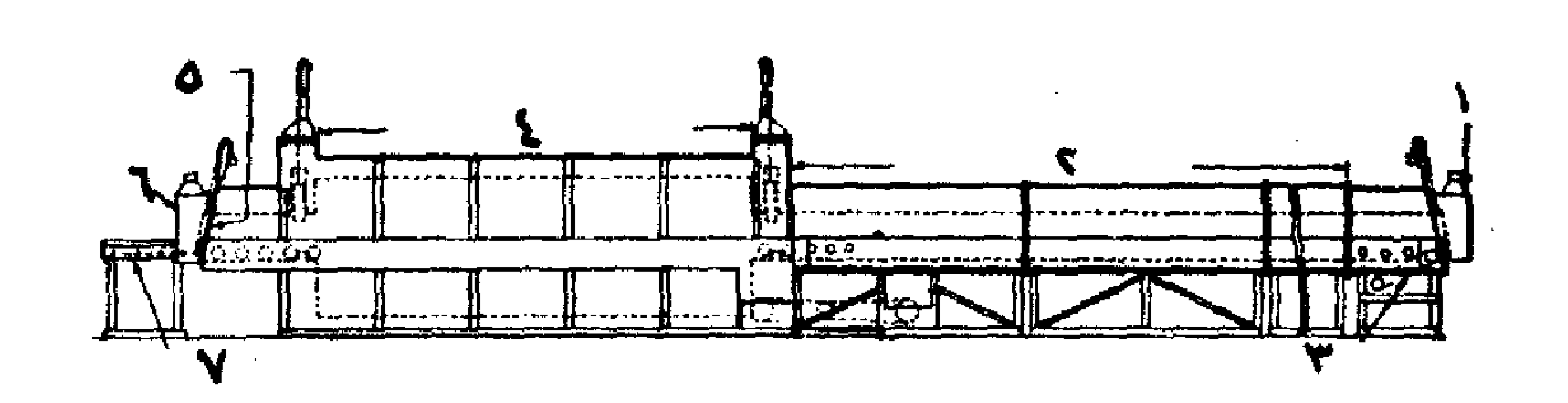
شكل (٩٩) فرن ذو مجمرة دوارة

١ – حراريات عازلة
٢ – باب
٣ – مادة عازلة
٤ – عناصر التسخين
٥ – دعامة المجمرة
٦ – مجمرة دوارة
٧ – خط الأرضية
٨ – آلية إدارة
٩ – بوابة التفريغ
١٠ – بوابة الشحن
١١ – غطاء الشعلة

٦ – فرن ذو مجمرة دحروجية : (الشكل ١٠٠) نوع من الأفران المستمرة ذات الناقل ويتألف ناقله من حصيرة من دلفينات دحروجية متجاورة ، تصنع من سبيكة تصمد أمام درجات الحرارة العالية . ولتسخين المشغولات ، فإنه يجرى شحنها مباشرة على الحصيرة التى تتألف من الدلفينات الدحروجية . ويناسب هذا الفرن المشغولات التى تكون على هيئة مواسير وقضبان ، وغيرها من المشغولات الكبيرة الحجم نسبيا .

ويتم شحن الفرن وتفريغه ، ونقل المشغولات بسرعة من قدم إلى آخر خلال الفرن أوتوماتيكيا وقد يزود الفرن بغرف تبريد ، وحوض للتسقية ، كما قد يزود بمروحة أو أكثر لتيسير عملية التسخين بواسطة تيارات الحمل القسرية .

ويتفوق هذا النوع من الأفران على غيره من الأنواع الأخرى ببساطة تصميمه ، وقلة نفقات صيانته ، وانخفاض تكاليف تشغيله .



شكل (١٠٠) فرن ذو مجمرة دحروجية

١ — غطاء العادم ٢ — غرفة تبريد ٣ — آلية إدراة التفريغ
٤ — غرفة تسخين ٥ — بوابة الدخول ٦ — غطاء العادم ٧ — نضد الشحن

ثانياً : أفران التسخين بواسطة مصهور لأحد الأملاح :

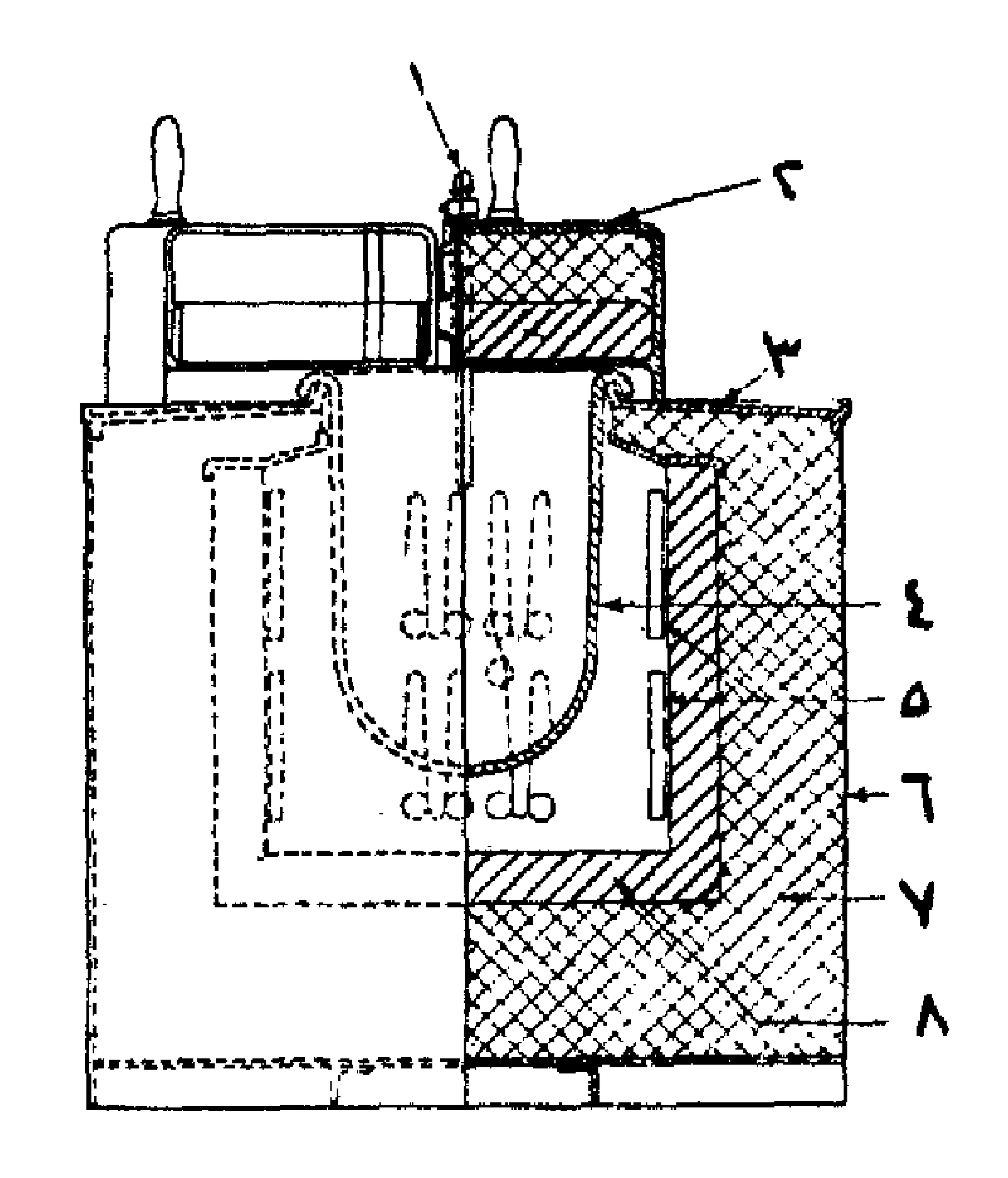
يتم انتقال الحرارة — خلال مصهور لأحد الأملاح يجرى اختياره بحيث تلائم نقطة انصهاره درجة الحرارة التي يراد الوصول إليها — من مصدر التسخين إلى قطع المشغولات بواسطة تيارات الحمل أساسا . ولما كانت تيارات الحمل سريعة ، والسعة الحرارية لمصهور الملح كبيرة ، لذلك فإن معدل تسخين المشغولات يكون محدودا من الناحية العملية كما أن طبقة رقيقة منه سوف تتجمد توا ، مغلفة كل سطح المشغولة . ولكنها سرعان ما تنصهر مرة أخرى ، إذ أن درجة حرارة مصهور الملح تكون أعلى كثيرا من نقطة انصهاره .

وتمتاز أفران التسخين بمصهور الملح عن أفران التسخين بالمقاومة الكهربائية ، بسرعة التسخين ، خاصة عند درجات الحرارة العالية التي تتم عندها عناصر المعاملة الحرارية ، إذ تكون معدلات التسخين في مصهور الملح أربعة أمثال معدلات التسخين في أفران المقاومة في وسط غازي .

ومن أمثلة أفران التسخين بواسطة مصهور لأحد الأملاح :

١ – **فرن بعناصر تسخين خارجية : (الشكل ١٠١)** تقام عناصر التسخين بالمقاومة على جدران هذا النوع من الأفران ، حيث تشع الحرارة إلى الجدار الخارجي لوعاء التسخين .

ويجب أن يصنع وعاء التسخين من سبيكة تصمد أمام درجات الحرارة العالية ، حتى يقوم بتوصيل الحرارة من عناصر التسخين إلى مصهور الملح بكفاءة .



شكل (١٠١)

فرن بعناصر تسخين خارجية :

١ – مزدوجة حرارية
٢ – غطاء من الحديد المصبوب
٣ – دعامة للغطاء من الحديد المصبوب
٤ – وعاء من سبيكة خاصة
٥ – عناصر التسخين
٦ – غلاف فولاذى
٧ – مادة عازلة
٨ – حراريات عازلة

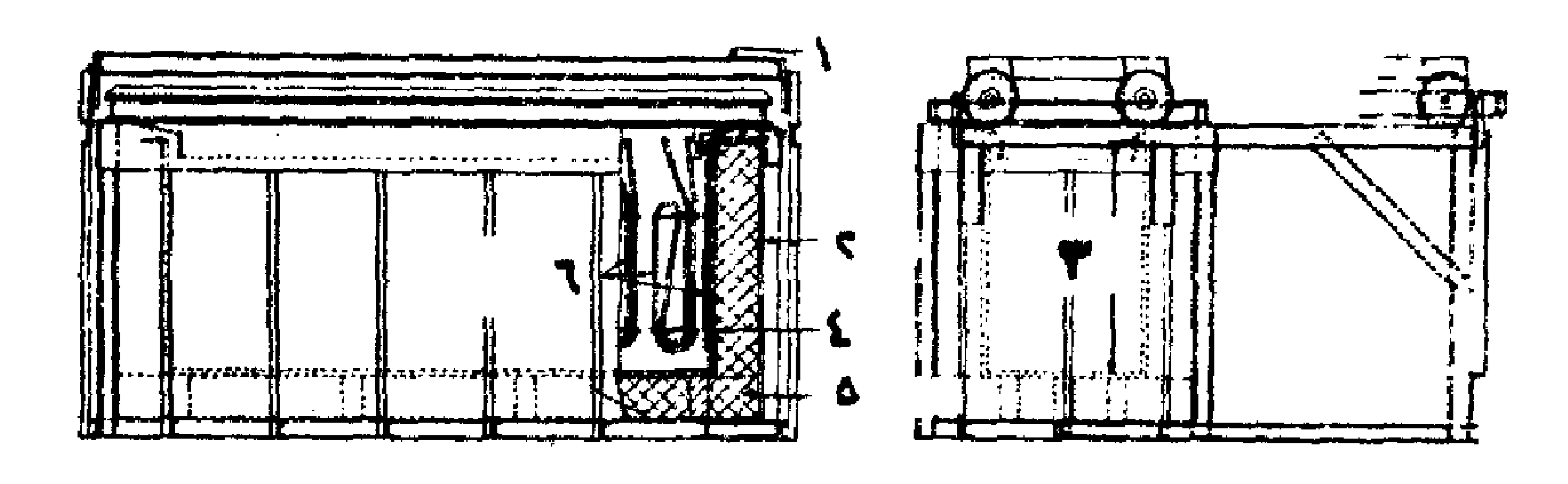
٢ – **فرن بعناصر تسخين مغمورة : (الشكلان ١٠٢ ، ١٠٣)**

يجرى تسخين هذا النوع من الأفران بواسطة مسخنات مغمورة ، تتألف من أسلاك مقاومة مطمورة فى حراريات عازلة ، وتكسوها كلها طبقة معدنية . وتتدرج الحرارة بين قيمتها القصوى والدنيا من عناصر التسخين ، إلى الطبقة المعدنية .

وتستخدم عناصر التسخين المغمورة لرفع درجة حرارة مصهور الملح حتى درجة حرارة ٥٧٠°م ، وتصنع أوعية احتواء المشغولات التى يراد تسخينها عادة من الفولاذ ، وتوضع مادة عازلة مناسبة بين جدران الوعاء والجدار الخارجى .

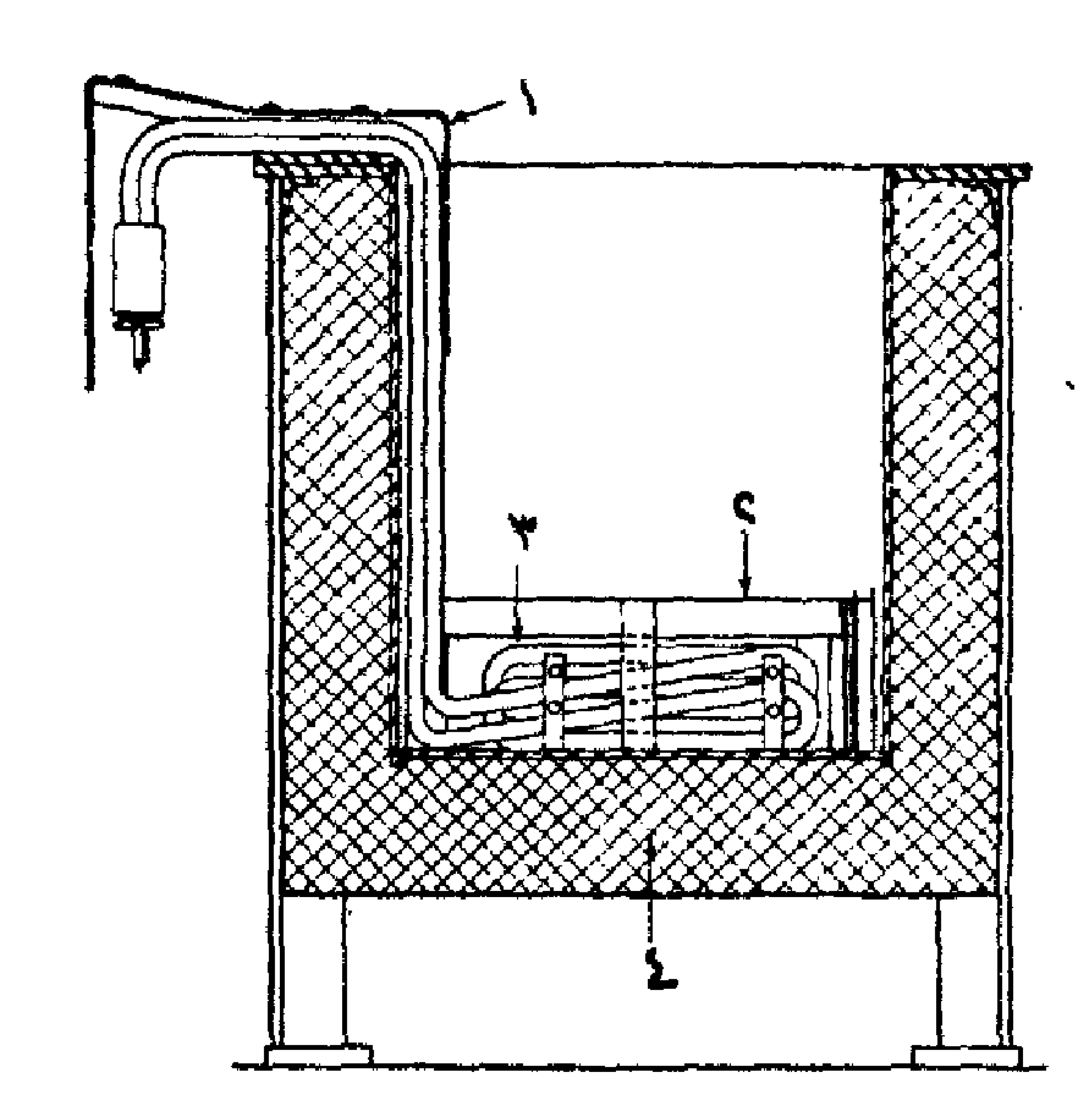
٣ – **فرن بإلكترود مغمور :**

يعتبر هذا الطراز من أفران التسخين بواسطة مصهور ملحى ، أقدم الأفران الكهربائية استخداما فى أغراض المعاملة الحرارية ، حيث ظهر إلى حيز التطبيق فى حوالى عام ١٩٠٦ . وبالرغم من أن جميع الأملاح عوامل عازلة جيدة للكهرباء فى الحالة الصلبة ، إلا أنها تصبح جيدة التوصيل للكهرباء عندما تكون فى حالة الانصهار . ولذلك تستغل هذه الخاصية الكهربائية



شكل (١٠٢) فرن بعناصر تسخين مغمورة

١ – غطاء معزول حراريا
٢ – غلاف فولاذى
٣ – عمق الحوض
٤ حوض التسخين
٥ – طبقة عازلة حراريا
٦ – عناصر تسخين مغمورة



شكل (١٠٣) فرن بعناصر تسخين مغمورة

١ – عارضة للوقاية
٢ – حاجز ذو قضبان
٣ – عناصر تسخين مغمورة
٤ – طبقة عازلة

عند تشغيل الفرن ذى الإلكترود المغمور . وعند التشغيل تنخفض فلطية التيار الكهربائى العادى الذى يبلغ ٢٢٠ – ٢٤٠ فلط إلى ٥ – ٢٥ فلط خلال محول كهربائى يقام إلى جدار الفرن ، ثم يسلط هذا التيار الكهربائى على الإلكترودات المغمورة فى مصهور الملح ، فيتدفق تيار كهربائى متردد بأمبيرية عالية خلال الإلكتروليت الملحى ، حيث ترتفع درجة حرارته نتيجة لمقاومته تدفق التيار الكهربائى خلاله .

ومن الواضح أن مصهور الملح لا يتعرض كيميائيا نتيجة لتردد التيار الكهربائى ، ولذلك فلا يمكن استخدام التيار الكهربائى المستمر فى هذه الحالة ، إذ سرعان ما يتحلل مصهور الملح إلى عناصره .

ومن الممكن استخدام مثل هذا الطراز من أفران التسخين ليغطى نطاقا عريضا من درجات الحرارة يمتد من ١٥٠ – ١٢٠٠° م استنادا إلى نوع الملح المستخدم ، ولذلك فهو مفيد لكثير من التطبيقات التى تشمل كثيرا من المعاملات الحرارية للعديد من الفلزات والسبائك المختلفة .

وللإلكترودات المغمورة ثلاثة تصميمات مختلفة هى :

(ا) إلكترودات معلقة ومتباعدة عن بعضها بعضا ، شكل (١٠٣)

(ب) إلكترودات مغمورة ، شكل (١٠٤)

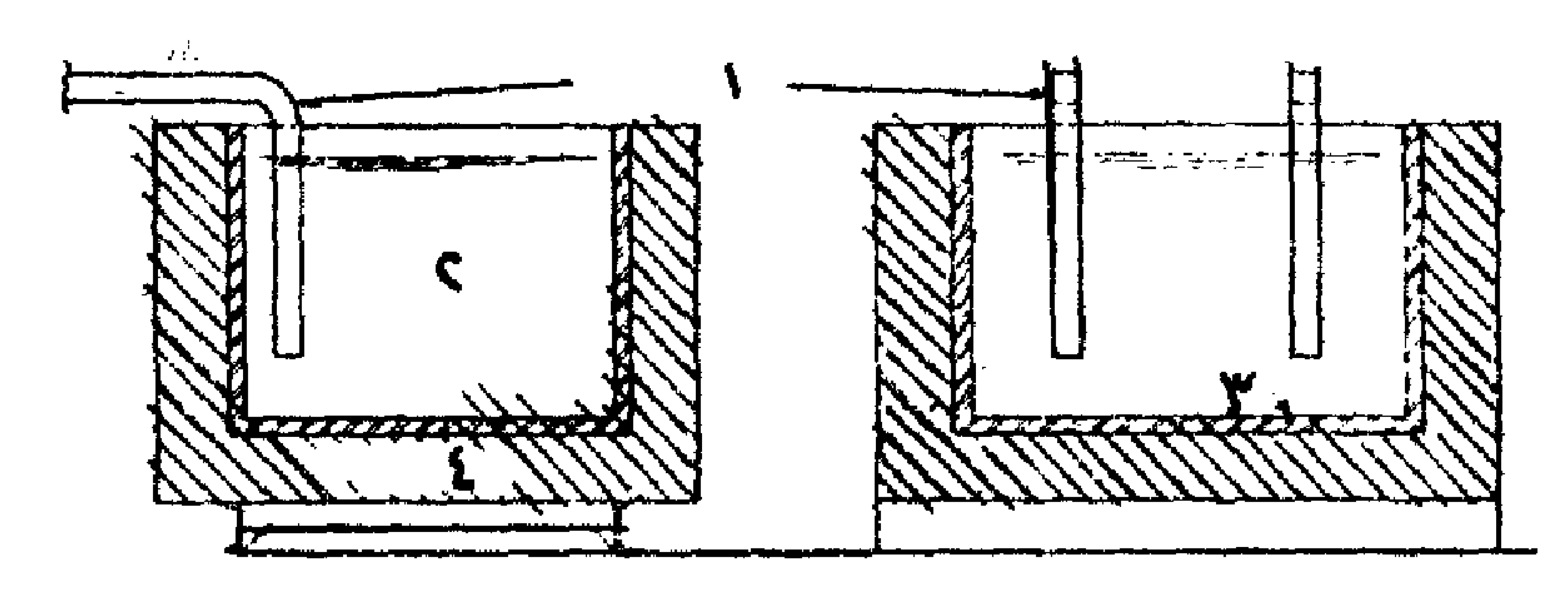
(جـ) إلكترودات معلقة ومتجاورة ، شكل (١٠٥)

وفى أقدم أنواع الأفران ذوات الإلكترودات المغمورة، كانت الإلكترودات توضع على الجوانب المتقابلة فى الحوض الذى يحوى مصهور الملح ، بحيث تكون معلقة من السقف وكان الحوض يصنع من مواد حرارية . وعند تدفق التيار الكهربائى ، من إلكترود إلى آخر ، فإنه يتحتم مروره خلال الشحنة المعدنية (مشغولات الألومنيوم) ، مما ينشأ عنه متاعب جسيمة . ولما كانت الشحنة المعدنية أجود توصيلا للكهرباء عن مصهور الملح ، فإنه نتيجة لذلك ترتفع كثافة التيار الكهربائى بطريقة غير عادية فى المساحة التى يدخل منها التيار ويغادر فيها قطع المشغولات ، مما ينتج عنه تسخين مفرط ، قد يؤدى إلى انصهار جزئى ، بينما تظل درجة الحرارة لمصهور الملح نفسه ثابتة دون تغير .

وقد أمكن التغلب على العيب فى تصميم الفرن ذى الإلكترودات المغمورة ، حيث جرى صنع الوعاء الذى يحتوى على المشغولات من الفلز جيد التوصيل للكهرباء ، كما جرى رص الإلكترودات على طول جدار واحد فقط من جدرانه (كما فى الشكل ١٠٤) وبذلك يسرى التيار الكهربائى من الإلكترود إلى جدار الوعاء ، ثم خلال الوعاء ، ثم يعبر الفجوة الممتلئة بمصهور الملح إلى الإلكترود الآخر ، فنتفادى سريانه عبر شحنة المشغولات .

وفى تصميم الفرن ذى الإلكترودات المعلقة متجاورة لبعضها بعضا ، يستخدم وعاء مصنوع من مواد حرارية ، وتولج الإلكترودات خلال جدار الوعاء أو قرب قاع المصهور كما فى الشكل (١٠٥) . وإذا كان عمق مصهور الملح فى الحوض ضحلا، اقتصر تدفق التيار الكهربائى خلال المساحة الواقعة بين الإلكترودين .

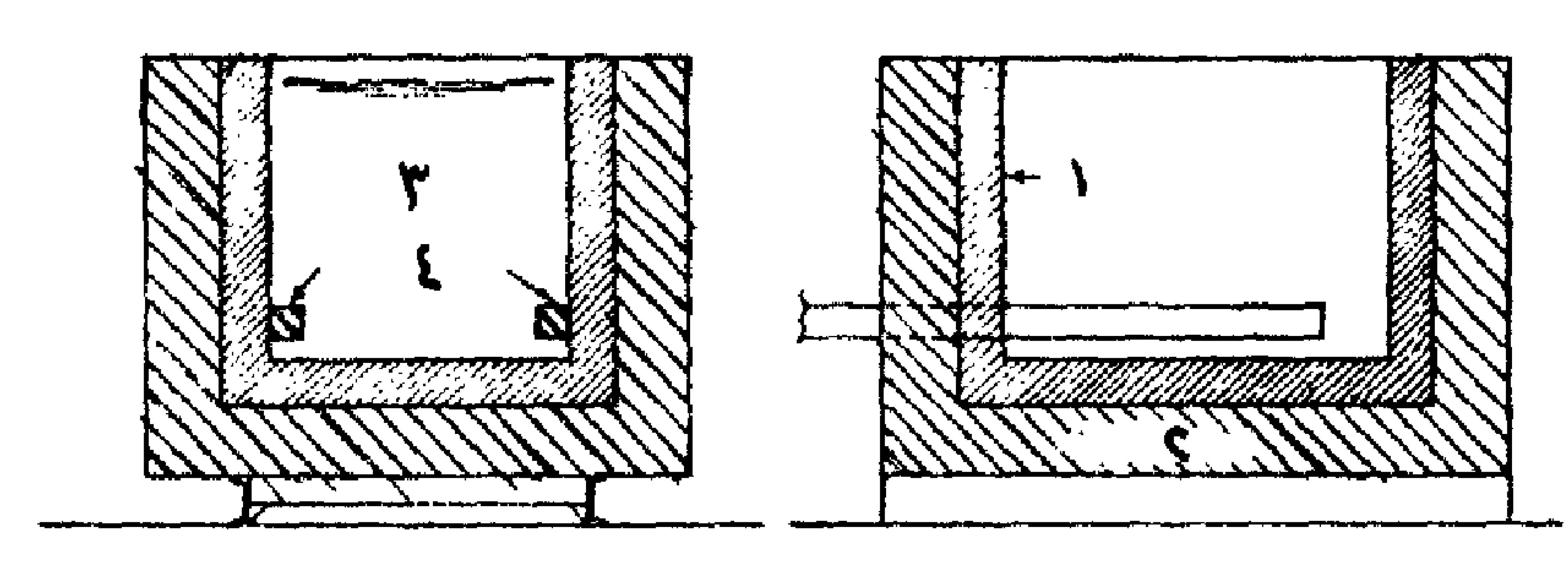
ولما كانت كل الحرارة المتولدة تنشأ عند قاع الحوض ، فإن تيارات دوامية من تيارات الحمل الحرارى تنشأ خلال مصهور الملح نتيجة التباين بين درجتى الحرارة أسفل وأعلى الحوض ، حيث تكون كثافتا المصهور مختلفتين .



شكل (١٠٤) نموذج آخر لفرن بعناصر تسخين مغمورة

١ – إلكترودات　　　٢ – مصهور لأحد الأملاح

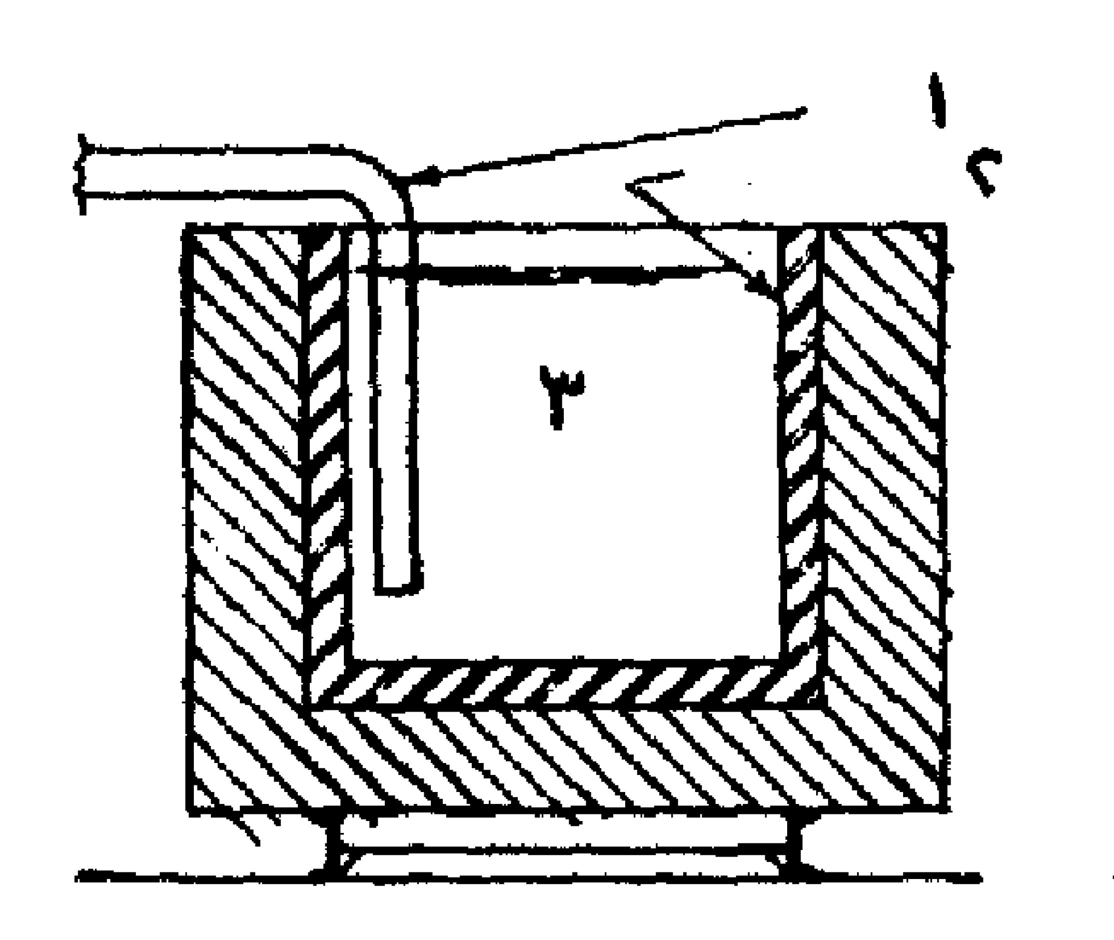
٣ – وعاء معدنى　　　٤ – طبقة عازلة

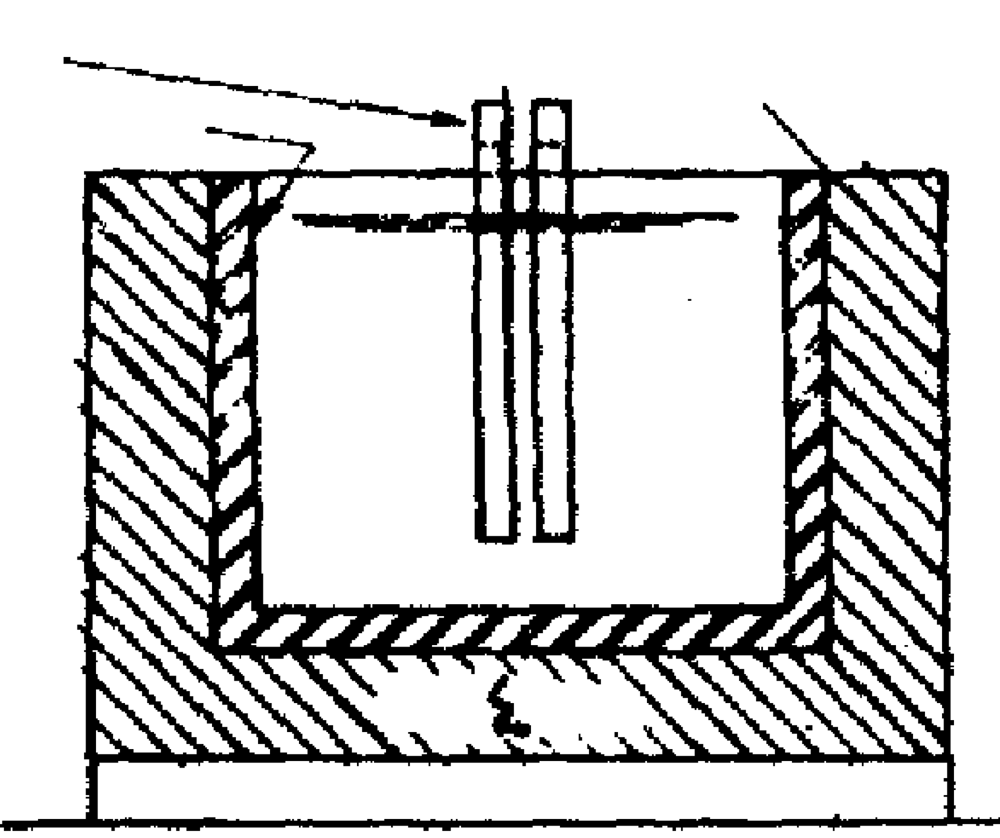


شكل (١٠٥) يبين الإلكترودات المغمورة فى فرن تسخين

١ – وعاء حرارى　　　٢ – طبقة عازلة

٣ – مصهور لأحد الأملاح　　　٤ – إلكترودان





شكل (١٠٦) فرن التسخين بالكترودات مغمورة ، معلقة ومتجاورة

١ – إلكترودان　　　٢ – وعاء معدنى أو حرارى

٣ – مصهور لأحد الأملاح　　　٤ – طبقة عازلة

وفى النوع الثالث من الأفران ذات الإلكترودات المغمورة ، حيث يوضع الإلكترودان معلقين ومتجاورين كما هو موضح فى الشكل (١٠٦) ويصنع الوعاء من المعدن أو من مواد

حرارية . ولهذا الطراز من الأفران سمة خاصة مميزة ، إذ يتولد مجال كهرومغنطيسى عند سريان التيار الكهربائى ، ويستغل هذا المجال الكهرومغنطيسى فى انتشار وتوزيع مصهور المعدن خلال حركة دورانية .

ويمكن شرح نظرية الانتشار بالحركة الدورانية للقوى الكهرومغنطيسية كما فى الشكل (١٠٧) كما يلى :

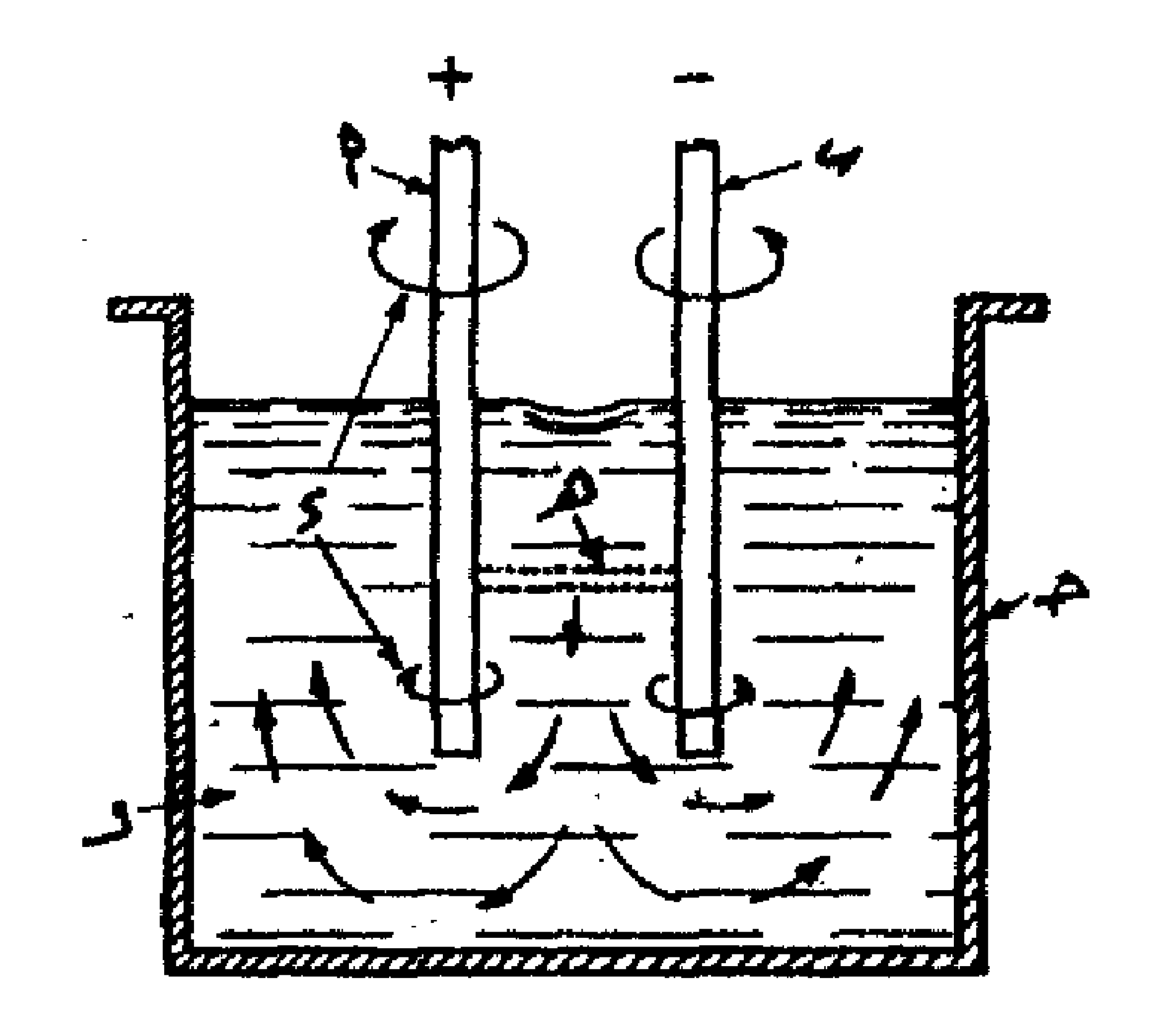
عند وضع موصل يحمل تيارا كهربائيا فى مجال مغنطيسى ، فإن الموصل يميل إلى الحركة على زوايا قائمة (عموديا) مع اتجاه سريان التيار الكهربائى . وبتطبيق هذه القاعدة فى حالة مصهور الملح : الإلكترودان ا ، ب مغموران عموديا ومتجاوران فى مصهور الملح (و) يتدفق تيار كهربائى بأمبيرية عالية (٣٠٠٠ أمبير مثلا) خلالهما .

عندئذ يحاط كل الإلكترود بخطوط القوى (د) التى تكون على هيئة دائرية . ويتدفق تيار كهربائى بكفاءة عالية بين الإلكترودين عند جميع النقط من سطح المصهور إلى أطراف الإلكترودين .

وباعتبار عنصر ضئيل من التيار (هـ) ، بين الإلكترودين ، فإن التيار المنتقل عند أية لحظة من أ، إلى ب مع المجال الكهرومغنطيسى الناشىء من الالكترودين سوف يمتد خارج مستوى الشكل عند النقطة (هـ) ، ومن ثم يتعرض الموصل أو مصهور الملح الذى يحمل التيار الكهربائى لقوة تحركه فى اتجاه أسفل الإلكترودين كما هو مبين بالسهم .

ومن الممكن التحكم فى ضبط درجة حرارة مصهور الملح بالأجهزة المعتادة ، مثل المزدوجة الحرارية ، ووسائل التحكم الضوئية وغيرها .

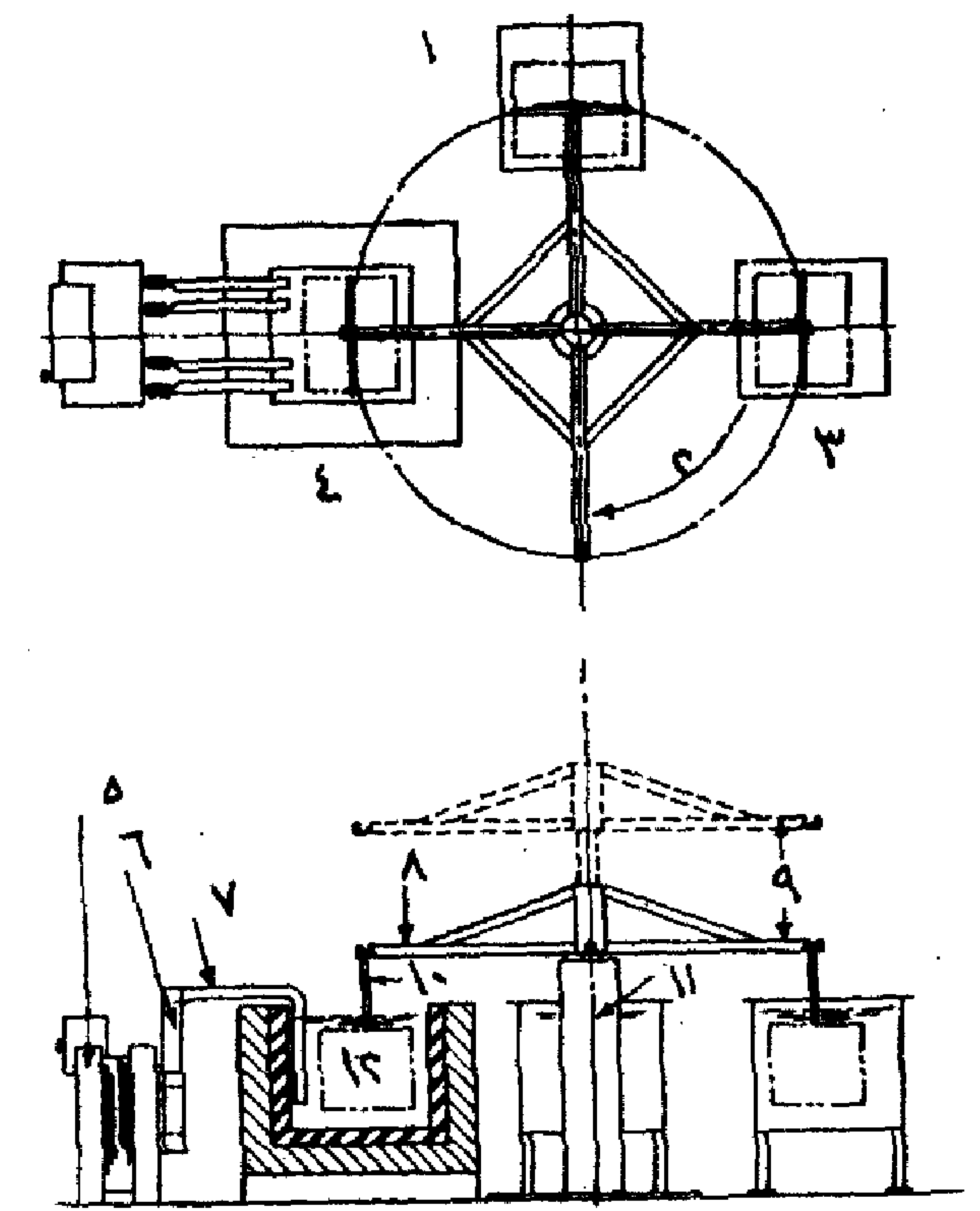
وتصنع الإلكترودات من فلزات مختلفة كالحديد ، ومن الحديد الكرومى ، ومن سبائك الحديد والنيكل والكروم ، ويتوقف اختيارها على درجة حرارة انصهار الملح المستخدم ، والخواص الكيميائية لمصهور الملح .

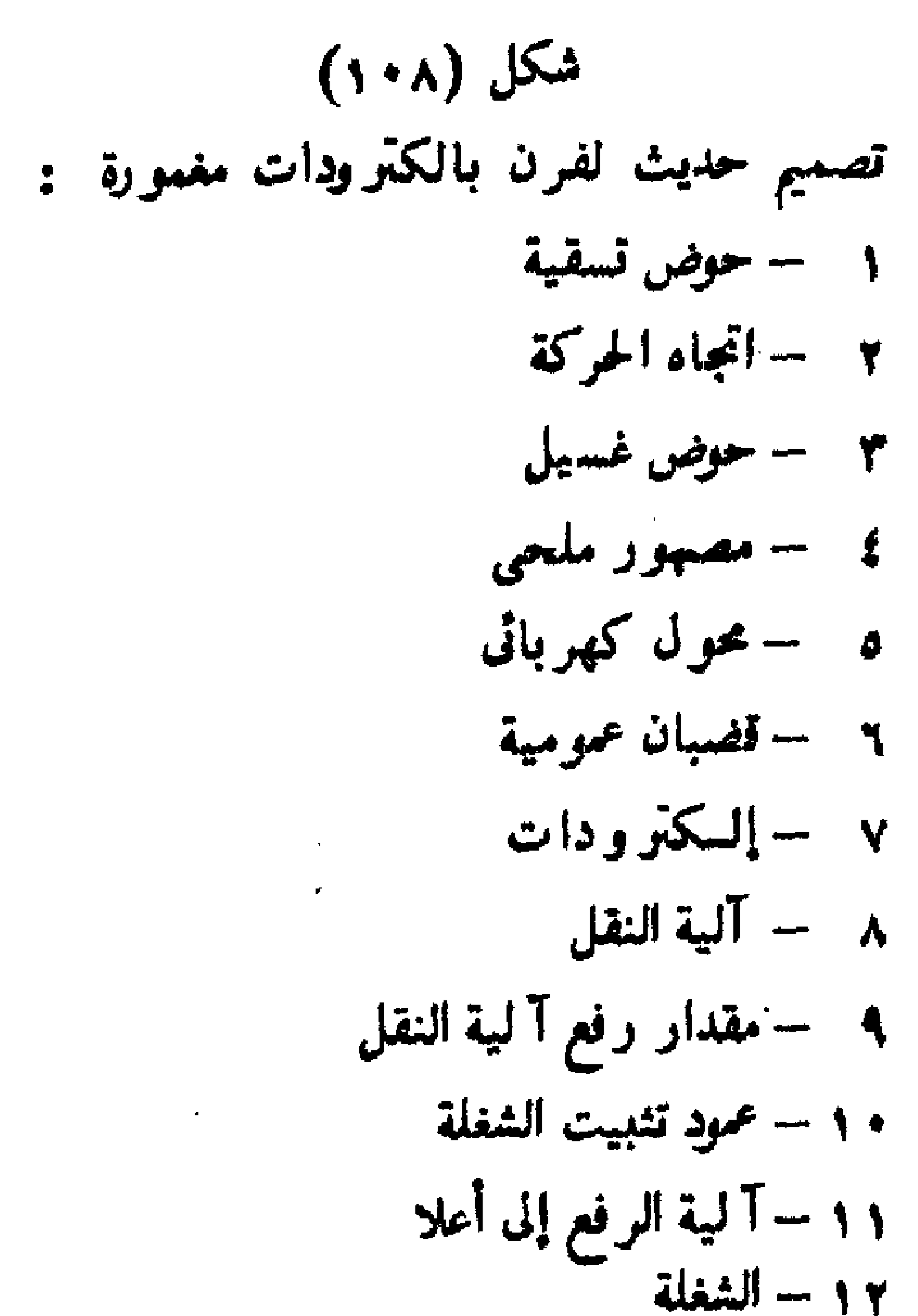


شكل (١٠٧)
نظرية الانتشار بالحركة الدورانية للقوى المغنطيسية فى فرن بالكترودات مغمورة

وعند تصميم الفرن ، يجب مراعاة أن تكون المساحة المكشوفة المعرضة للهواء الجوى أقل ما يمكن ، حتى يكون الفاقد من الحرارة أقل ما يمكن بقدر الإمكان .

ويتيح الفرن من نوع الإلكترود المغمور ، تصميم حوض الملح بأى حجم وبأى شكل ، وبفضل تسخينه الداخلى ، تضمن عمرا أطول للحوض الذى يحتوى على مصهور الملح . وبفضل كل هذه العوامل مجتمعة ، بالإضافة إلى إمكانية توليد أية قدرة مطلوبة داخل الحوض ، لذلك فن المستصوب عمليا ميكنة مثل هذه الأفران ، بحيث يمكن تسخين المشغولات على سيور ناقلة بطريقة مستمرة . ومن هذه التصميمات ، ما جهز به الفرن الموضح بالشكل رقم (١٠٨) إذ تعلق المشغولات فى خطافات مناسبة ، حيث تدور بواسطة جهاز يقام فى مركز دائرة ، بها حوضان أو أكثر تحوى أملاحا منصهرة أو أوساط تسقية مناسبة .

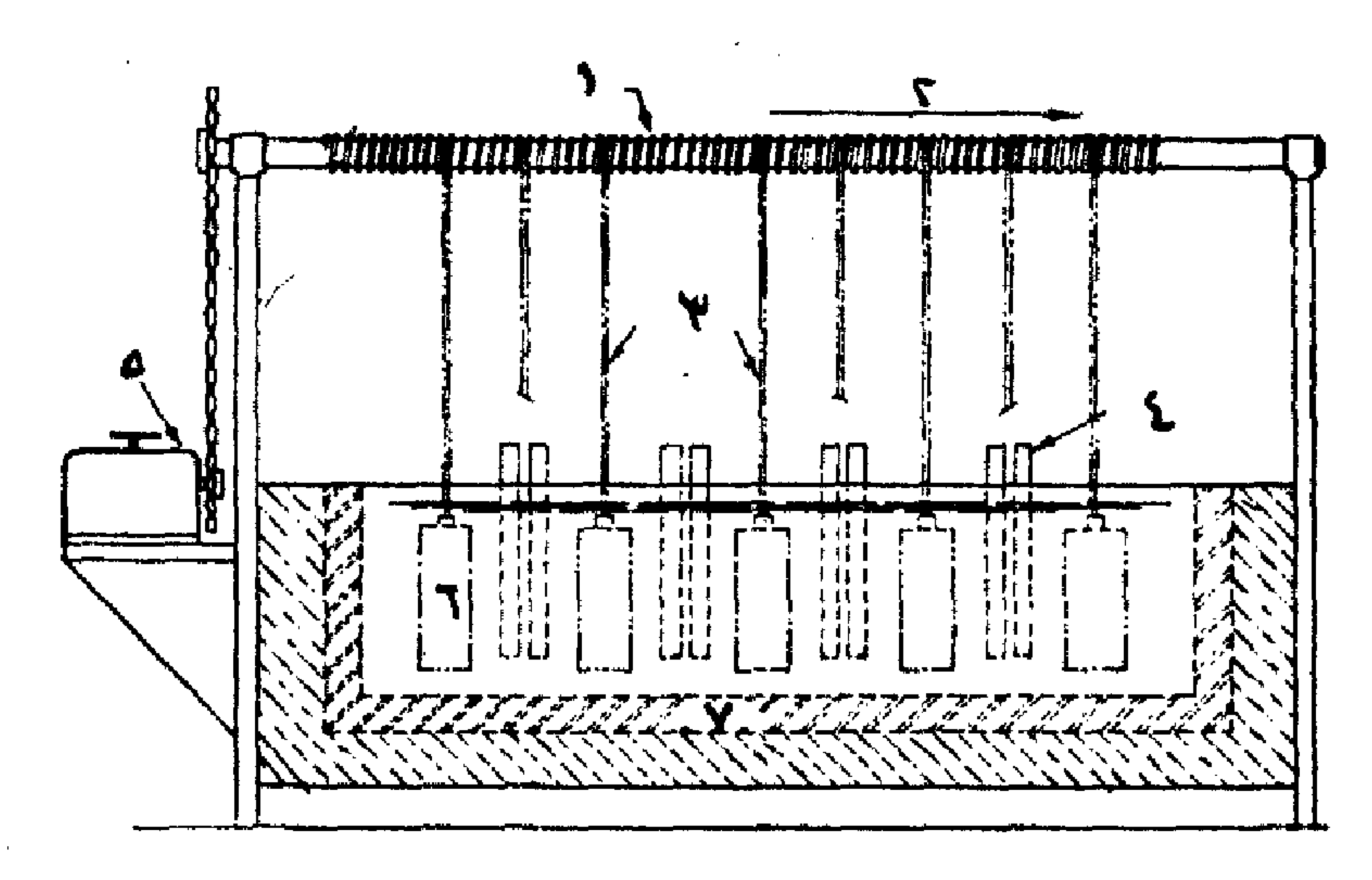



شكل (١٠٨)

تصميم حديث لفرن بالكترودات مغمورة :

١ — حوض تسقية
٢ — اتجاه الحركة
٣ — حوض غسيل
٤ — مصهور ملحى
٥ — محول كهربائى
٦ — قضبان عمومية
٧ — إلكترودات
٨ — آلية النقل
٩ — مقدار رفع آلية النقل
١٠ — عمود تثبيت الشغلة
١١ — آلية الرفع إلى أعلا
١٢ — الشغلة

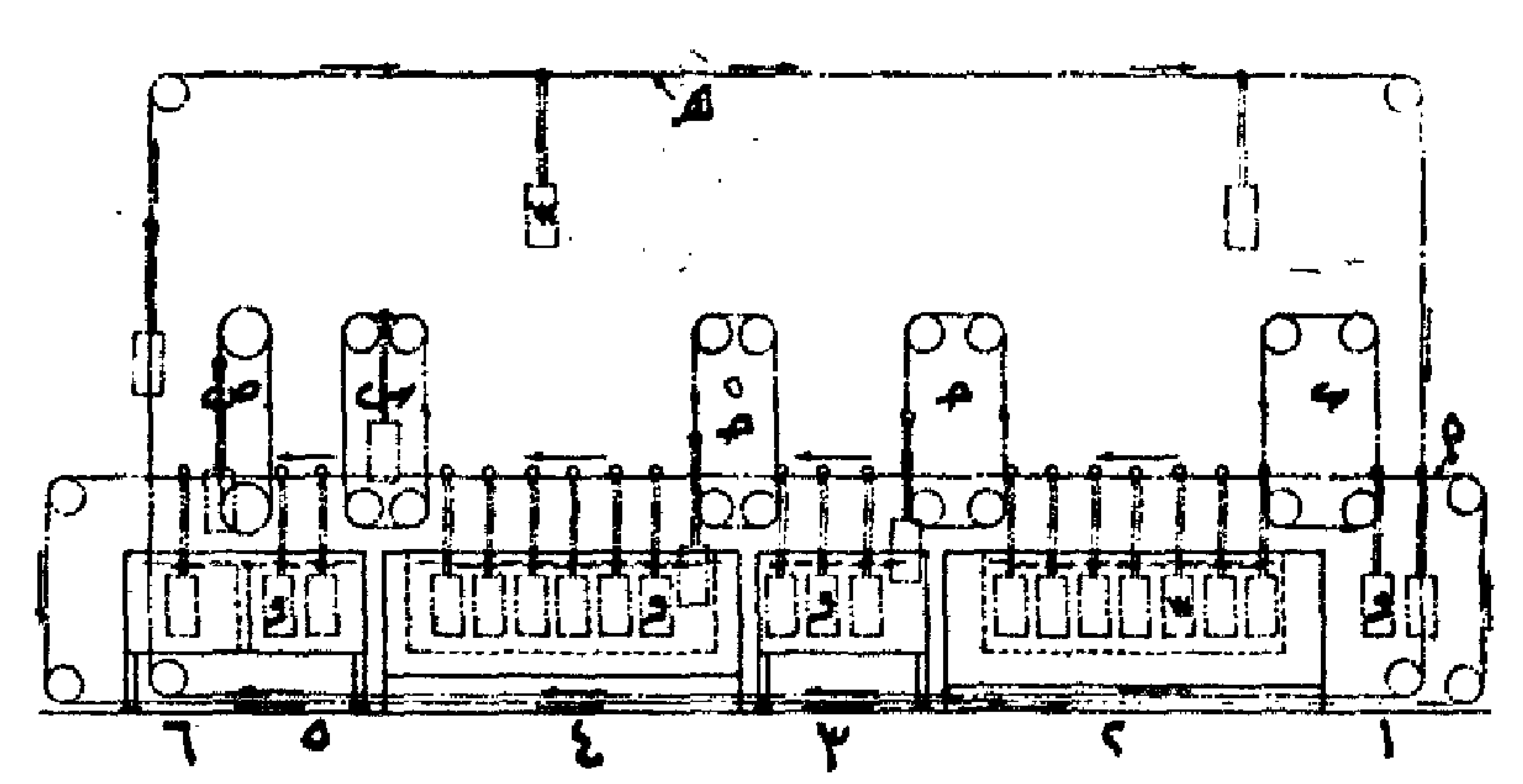
وهناك تصميم آخر ، يعرف بالناقلة الملولبة ، كما فى الشكل رقم (١٠٩) ، يحتوى على ذراع ممتدة على حوض الملح المنصهر ، وتدار هذه الذراع بواسطة موتور كهربائى ، ويعلق فى هذه الذراع المشغولات أو سلات تحوى المشغولات الصغيرة ، وبدوران هذه الذراع حول محورها ، تتحرك المشغولات بالسرعة المطلوبة على امتداد الحوض . ومن ثم يمكن التحكم فى درجة الحرارة والزمن .



شكل (١٠٩) فرن بالـكترودات مغمورة من طراز الناقلة الملولبة

١ – ناقلة ملولبة ٢ – اتجاه الحركة ٣ – أذرع رفع الشغلة ٤ – إلـكترودات
٥ – جهاز إدارة بسرعات مختلفة ٦ – الشغلة ٧ – وعـاء

ويوضح الشكل رقم (١١٠) رسما تخطيطيا لفرن تم تصميمه ، بحيث يتيح مرونة كافية لسلسلة من عمليات المعاملة الحرارية ، تتم جميعها بوسائل ميكانيكية ، وتشمل واحدا أو أكثر من أحواض التسخين بواسطة مصهور أحد الأملاح ، بالإضافة إلى حوض مجاور للتسقية السريعة ، ثم أحواض الغسيل والشطف ، وفى هذا الفرن ، تستقر جريدة أفقية (هـ) تحمل حوامل المشغولات (و) على ناقلتين أعلى الفرن وعلى بعد كاف من الأحواض التى تحوى الأملاح المنصهرة . وتعود السلسلتان (أ) تحت الفرن ، وقد زود تصميم الفرن بحواجز ميكانيكية ب، جـ ، د ، س، ص تفصل الأحواض المختلفة، وتعمل على رفع أوخفض الشغلة (و) التى تحملها الجريدة حين وصولها إلى ذلك الحاجز ، تبعا لمقتضيات ونظام الطريقة ، بحيث يتم رفع الشغلة من حوض ليعبر الحاجز ويغمر بسرعة فى الحوض التالى .



شكل (١١٠) فرن بإلـكترودات مغمورة ، تم تصميمه بحيث يعطى مرونة كافية لسلسلة من عمليات المعاملة الحرارية بوسائل ميكانيكية :

١ – الشحن والتفريغ ٢ – مصهور ملحى ٣ – حوض تسقية
٤ – مصهور ملحى (للتطبيع) ٥ – حوض لغسل المنتجات ٦ – شطف المنتجات

الباب السادس

سبائك الألومنيوم وخواصها

لما كانت سبائك الألومنيوم متعددة ومتنوعة . وفى الوقت نفسه، لما كانت كل سبيكة تحتوى على عدة عناصر سبيكية مختلفة ، لذلك فإنه من العسير الدلالة عليها فى كل مرة برموزها الكيميائية . إذ أنها عملية شاقة ، عرضة للخطأ عند كتابة الرموز ونسبها المئوية ، بالإضافة إلى طولها ، الأمر الذى قد يشتت ذهن القارئ . وتسهيلا للموقف ، تقوم هيئات المواصفات القياسية الوطنية ، والشركات المنتجة، بالتدليل على تلك السبائك برموز وأرقام معينة . وفى الواقع لا تعنى هذه الرموز والأرقام شيئا أكثر من ذلك . ولما كانت هيئات المواصفات القياسية فى مصر وفى باقى الدول العربية ، لم تصدر بعد تصنيفاً رمزياً للألومنيوم وسبائكه ، فلقد رأينا وضع رموز نستعين بها فى شرح وتصنيف هذه السبائك . لذلك نرجو ألا يغيب عن الذهن ، أنها اصطلاحات محلية فى نطاق هذا الكتاب ، وإن كانت مستمدة من المواصفات القياسية لهذا الموضوع فى الدول الرئيسية التى تنتج الألومنيوم وسبائكه .

رموز التصنيف العام للسبائك

أ : ألومنيوم نقى (٩٩,٩٩٦٪ لو)

ب : ألومنيوم نقى تجاريا (٩٩,٠٠٠٪ لو)

جـ : سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل (بأساليب الطرق ، والسحب ، والدرفلة ، والبثق ، إلخ) .

د : سبائك الألومنيوم المسبوكات . (السباكة الرملية ، وفى قوالب معدنية ، إلخ)

رموز تصنيف المعاملات الحرارية

ع : سبيكة مخمرة وأعيد تبلورها .

ع١ : سبيكة عوملت حراريا لإذابة مكوناتها فى محلول جامد متجانس .

ع٢ : سبيكة عوملت حراريا لإذابة مكوناتها فى محلول جامد متجانس ، ثم تعرضت بعد ذلك لتحقيق إزمانى اصطناعى .

ع٣ : سبيكة عوملت حراريا لإذابة مكوناتها فى محلول جامد متجانس ، ثم تعرضت لعملية تثبيت بلورى .

الخواص الميكانيكية

فى جداول الخواص الميكانيكية للسبائك الواردة فى هذا الباب :

١ - أجريت اختبارات الاستطالة على عينات كل منها على شكل شريط سمكه ١,٦ ملليمتر .

٢ - أجريت اختبارات الصلادة بكرة برينل قطرها ١٠ مليترات ، تحت حمل قدره ٥٠٠ كيلو جرام .

العناصر الرئيسية فى السبائك

(٢ جـ إلى ٩ جـ) : النحاس يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(٤ د ، ٧ د ، ٨ د ، ٩ د ، ١٢ د ، ١٣د ، ١٤ د) النحاس يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(١ جـ) : المنجنيز يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(١٢ جـ إلى ١٥ جـ) : المغنسيوم يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(١٥ د إلى ١٨ د) : المغنسيوم يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(١٠ جـ ، ١١ جـ) : السيليكون يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(١ د إلى ٣ د ، ١٠ د ، ١١ ، ١٩د ، ٢٤د) : السيليكون يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(١٦ جـ ، ١٧ جـ ، ٢٦ د) : الزنك يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(٢٥ د) : القصدير يمثل العنصر السبيكى الرئيسى فيها .

(جـ) سبائك الألومنيوم للتشكيل :

١ جـ : لو - ١,٢ من

٢ جـ : لو - ٥,٥ نح - ٠,٥ ٧ - ٠,٥ بز

٣ جـ : لو - ٤ نح - ٠,٦ من - ٠,٦ مغ - ٠,٥ ٧ - ٠,٥ بر

٤ جـ : لو - ٤,٤ نح - ٠,٨ س - ٠,٨ من - ٠,٤ مغ

٥ جـ : لو - ٤,٥ نح - ١,٠ س - ٠,٨ من - ٠,٤ مغ (مكسية بسبيكة لو - ١,٠ مغ - ٠,٧ س - ٠,٥ من)

٦ جـ : لو - ٤,٠ نح - ٠,٥ مغ - ٠,٥ س

٧ جـ : لو - ٤,٠ نح - ٢,٠ نك - ٠,٥ مغ

٨ جـ : لو - ٤,٥ نح - ١,٥ مغ - ٠,٦ من

٩ جـ : لو - ٤,٥ نح - ٠,٨ من - ٠,٨ س

١٠ جـ : لو — ١٢,٥ س — ١,٠ مغ — ٠,٩ نح — ٠,٩ نك

١١ جـ : لو — ١,٠ س — ٠,٦ مغ — ٠,٢٥ كر

١٢ جـ : لو — ٢,٥ مغ — ٠,٢٥ كر

١٣ جـ : لو — ١,٣ مغ — ٠,٧ س — ٠,٢٥ كر

١٤ جـ : لو — ٥,٢ مغ — ٠,١ من — ٠,١ كر

١٥ جـ : لو — ١,٠ مغ — ٠,٦ س — ٠,٢٥ نح — ٠,٢٥ كر

١٦ جـ : لو — ٥,٥ خ — ٢,٥ مغ — ١,٥ نح — ٠,٣ كر — ٠,٢ من

١٧ جـ : لو — ٦,٤ خ — ٢,٥ مغ — ١,٢ نح .

(د) سبائك الألومنيوم للمسبوكات :

١ د : لو — ١٢ س

٢ د : لو — ٥ س

٣ د : لو — ٥ س — ٤ نح

٤ د : لو — ٤ نح — ٣ س

٥ د : لو — ٥ س — ٣ نح

٦ د : لو — ٥,٥ س — ٤,٥ نح

٧ د : لو — ٧ نح — ٢ س — ١,٧ خ

٨ د : لو — ٧ نح — ٣,٥ س

٩ د : لو — ١٠ نح — ٠,٢ مغ

١٠ د : لو — ١٢ س — ٢,٥ نك — ١,٢ مغ — ٠,٨ نح

١١ د : لو — ١٢ س — ١,٥ نح — ٠,٧ من — ٠,٧ مغ

١٢ د : لو — ٤ نح — ٢ نك — ١,٥ مغ

١٣ د : لو — ٤,٥ نح

١٤ د : لو — ٤,٥ نح — ٢,٥ س

١٥ د : لو — ٣,٨ مغ

١٦ د : لو — ٣,٨ مغ — ١,٨ خ

١٧ د : لو — ٨ مغ

١٨ د : لو — ١٠ مغ

١٩ د : لو — ٦ س — ٣,٥ نح

٢٠ د : لو — ٥ س — ١,٣ نح — ٠,٥ مغ

٢١ د : لو — ٧ س — ٠,٣ مغ

٢٢ د : لو – ٨ س – ١,٥ نح – ٠,٢ مغ – ٠,٣ من
٢٣ د : لو – ٩,٥ س – ٠,٥ مغ
٢٤ د : لو – ٨,٥ س – ٣,٥ نح
٢٥ د : لو – ٦,٥ ق – ١ نح – ١ نك
٢٦ د : لو – ٥,٥ خ – ٠,٦ مغ – ٠,٥ كر – ٠,٢ تى

الألومنيوم النقى لو ٩٩,٩٩٦٪
(السبيكة أ)

ب – الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٩٨٩ جرام /سم³
عند ٢٥°م : ٢,٦٩٧٨ جرام /سم³

جـ – درجة حرارة الانصهار : ٦٦٠,٢°م
درجة حرارة الغليان : ٢٠٦٠°م
الحرارة النوعية (عند ١٠٠°م) : ٠,٢٢٢٦ كالورى /جرام
الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٤,٦ كالورى / جرام
حرارة الاحتراق : ٧٣٨٩ كالورى / جرام

د – الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم/سم²	مقاومة الخضوع كجم/سم²	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)
عينة ع	٤٦٧	١٢١	٤٨,٨	١٧
عينة مدرفلة على البارد	١١١٠	١٠٦٠	٥,٥	٢٧

* * *

الألومنيوم النقى تجاريا لو ٩٩,٠٪
(السبيكة ب)

(ا) الاستخدامات: التطبيقات التى تتطلب قابلية عالية للتشكيل ، أو مقاومة عالية للتآكل، أو كليهما معا . وعندما لا تكون المتانة العالية هى المطلوبة . أوانى الطبخ ، وأوعية حفظ الأطعمة ، والمواد الكيميائية، إلخ .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧١ جم/سم٣

الانكماش نتيجة التجمد : ٦,٦٪

(جـ) درجة حرارة خط السيولة : ٦٥٧° م

درجة حرارة خط الجمود : ٦٤٣° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٢٩٧ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

الموصلية الحرارية عند ٢٥° م : ٠,٥٣ كالورى/سم٢ / سم /° م /ث

حرارة الاحتراق : ٧٤٠٠ كالورى/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٢٩٠° م

د - الخواص الميكانيكية : (لسبيكة مخمرة وأعيد تبلورها)

الخواص الميكانيكية للألومنيوم النقى (تجارياً) المخمر

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عددبرينل)	مقاومة القص كجم/م٢	معامل المرونة كجم/سم٢
٩١٠	٣٥٠	٤٥	٢٣	٦٦٥	٧٠٠٠٠٠

تغير بعض الخواص الميكانيكية باختلاف درجة الحرارة

	درجات الحرارة المئوية		
	٢٥	١٥٠	٢٠٠
مقاومة الشد ، كجم/سم٢	٩٠٠	٥٢٥	٤٢٠
مقاومة الخضوع ، كجم/سم٢	٣٥٠	٢٤٥	٢١٠
الاستطالة (٪)	٤٥	٦٥	٧٠

هـ – حدود التركيب الكيميائى ٪ :

لو	(حد أدنى)	٩٩
ح + س	(حد أقصى)	١
نح	(حد أقصى)	٢,
من	(حد أقصى)	٠٥,
خ	(حد أقصى)	١,

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ – ٧٤٠° م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ – ٥١٠° م

المعاملة الحرارية : يجرى التخمير عند ٣٤٥° م

* * *

سبائك الألومنيوم القابلة للتشكيل

لو – ١,٢ من

(السبيكة ١ جـ)

(ا) الاستخدامات : الأغراض التى تتطلب قابلية عالية للتشغيل ، أو مقاومة كبيرة للتآكل ، أو قابلية عالية للحام ، أو جميعها مجتمعة ، وأينما كانت المتانة مطلوبة . أدوات المطبخ ، أوعية حفظ الأطعمة والمواد الكيماوية ، صهاريج الجازولين والزيت .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٣ جم/سم٣

درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٥° م

درجة حرارة خط الجمود : ٦٤٣° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣١٤° م

(د) الخواص الميكانيكية (عينة مخمرة) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢
١١٢٠	٤٢٠	٤٠	٢٨	٧٧٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

من		١-١,٥
نح	(حد أقصى)	٠,٢
ح	(حد أقصى)	٠,٧
س	(حد أقصى)	٠,٦
خ	(حد أقصى)	٠,١
شوائب أخرى	(حد أقصى)	٠,١٥

❋ ❋ ❋

لو – ٥,٥ نح – ٠,٥ ٧ – ٠,٥ بز

(السبيكة ٢ ج)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تستلزم قابلية عالية للتشغيل ومتانة كبيرة . تستخدم فى صناعة أجزاء الماكينات الملولبة (القلاووظ) . المطروقات ، أجزاء الطائرات الحربية .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٨٢ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٣° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٣٥° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام (تقريبا)

الموصلية الحرارية عند ٢٥° م : ٠,٣٧ كالورى/سم٢ /سم/ ٥م / ث

(د) الخواص الميكانيكية (لعينة عوملت حراريا ثم تعرضت للتشغيل على البارد) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢
٣٧١٠	٣٢٩٠	١٥	٩٥	٢١٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « لأغراض صناعة الطائرات الحربية » (٪) :

نح		٣,٥ – ٦ ٪
بز		,٢ – ,٧٪
٧		٠,٢ –٠,٧٪
الشوائب الأخرى (ح ، مغ ، س ز)	(حد أقصى)	١,٠٪

• النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ — ٧٤٥°م

• درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٤٨٠°م

* * *

لو — ٤ نح — ٠,٦ من — ٠,٦ مغ — ٠,٥ ٮ — ٠,٥ بز
(السبيكة ٣ جـ)

(ا) **الاستخدامات :** المطروقات ، الأجزاء التى يجرى تشغيلها بالمكنات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨١ جرام/سم٣

(جـ) المقاومة للتآكل الكيميائى : جيدة وتتحسن بتسقية هذه السبيكة سريعا فى ماء بارد .

(د) الخواص الميكانيكية (السبيكة المسقاة) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم٢
٤٢٧٠	٢٤٥٠	٢٢	١٠٠	٧٣٥٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

نح	٣,٥—٤,٥
من	٠,٤—١
مغ	٠,٢—٠,٨
ٮ	٠,٣—٠,٧
بز	٠,٣—٠,٧

(و) درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٣٥٥ — ٤٠٠°م
درجة حرارة التخمير : ٤٠٠ — ٤٢٥°م

ويجرى التشريب الحرارى عند هذه الدرجة لمدة ساعة ، ثم يبرد بمعدل لا يزيد على ١٠ °م فى الساعة ، حتى تصل درجة الحرارة إلى ٢٨٠ °م .

* * *

لو — ٤,٤ نح — ٠,٨ س — ٠,٨ من — ٠,٤ مغ (السبيكة ٤ ج)

(ا) **الاستخدامات** : التطبيقات التى تتطلب متانة عالية ، وقابلية جيدة للتشكيل ، وصلادة كبيرة . المطروقات ذات الأداء الممتاز . بعض أجزاء الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٨ جرام/سم ٣ .

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨° م

درجة حراة خط الجمود : ٥١٠°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جم

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣٤٥° م

(د) الخواص الميكانيكية (عينة مخمرة) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢
١٨٩٠	٩٨٠	١٨	٤٥	١٢٦٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

نح	٣,٩ — ٥
س	٠,٥ — ١,٢
من	٠,٤ — ١,٢
مغ	٠,٢ — ٠,٨

✻ ✻ ✻

لو – ٤,٥ نح – ١,٠ س – ٠,٨ من – ٠,٤ مغ
مكسية بسبيكة لو – ١,٠ مغ – ٠,٧ س – ٠,٥ من
(السبيكة ٥ ج)

(ا) **الاستخدامات** : تستخدم فى صناعة الأجزاء التى تتطلب متانة عالية ، قابلية كبيرة للتشكيل و مقاومة ممتازة للتآكل الكيميائى .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٨ جرام/سم٢

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٧° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢٥° م

(د) الخواص الميكانيكية (للألواح المدرفلة) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم /سم٢	الاستطالة ٪	مقاومة القص كجم/سم٢	معامل المرونة كجم/سم٢
١٧٥٠	٧٠٠	٢٢	٣٠١٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

	القلب	الكسوة
نح	٣,٩ – ٥	٠ – ٠,١
س	,٥ – ١,٢	,٣٥ – ١,٠
مغ	,٢ – ٠,٨	٠,٨ – ١,٥
من	,٤ – ١,٢	٠ – ٠,٧٥

* * *

لو – ٤ نح – ٠,٥ مغ – ٠,٥ من

(السبيكة ٦ ج)

(ا) **الاستخدامات** : التطبيقات التى تستلزم متانة عالية نسبيا ، وقابلية كبيرة للتشكيل ومقاومة للتآكل الكيميائى . بعض أجزاء الطائرات ، مسامير البرشام .

(ب) الكثافة عند ٢٠ م : ٢,٧٩ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤١°م

درجة حرارة الجمود : ٥١٣° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣٤٥° م

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم/سم^{2}	مقاومة الخضوع كجم/سم^{2}	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم^{2}
(ع)	١٨٢٠	٧٠٠	٠٠	٤٥	١٢٦٠
(ع١)	٤٣٤٠	٢٨٠٠	٢٢	١٠٥	٢٦٦٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

	نح	من	مغ
القضبان والأسلاك	٣,٥ — ٤,٥	٠,٤ — ١,٠	٠,٢ — ٠,٨
المطروقات	٣,٥ — ٤,٧	٠,٤ — ١,٠	٠,٢ — ٠,٧٥

* النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ — ٧٤٥° م
* درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٤٨٠° م

❋ ❋ ❋

لو — ٤ نح — ٢ نك — ٠,٥ مغ

(السبيكة ٧ جـ)

(ا) **الاستخدامات** : التطبيقات التى تتطلب متانة كبيرة عند درجات الحرارة العالية ، الأسطوانات والكباسات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨ جرام/سم^{3}

(ج) درجة حرارة خط السيولة : عند ١٢٪ م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٠٧° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢	معامل المرونة كجم/سم٢
٤٤١٠	٣٢٩٠	١٧	١٣٠	٢٧٣٠	٧٤٢٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

نح ٣,٥ — ٤,٥

نك ١,٧ — ٢,٣

مغ ٠,٤٥ — ٠,٩

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ — ٧٤٥°م

(ز) درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٤٨٠°م

* * *

لو — ٤,٥ نح — ١,٥ مغ — ٠,٦ من

(السبيكة ٨ جـ)

(ا) الاستخدامات : هياكل الطائرات ، أغراض البرشمة . كثير من الانشاءات المعدنية .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٧ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٠٢° م
الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام
درجة حرارة إعادة التبلور : ٣٤٥° م
(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢
(ع)	١٨٩٠	٧٧٠	٢٢	٤٢	١٢٦٠
(ع١)	٤٧٦٠	٣٢٢٠	٢٢	١٢٠	٢٨٧٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

نح ٣,٨ — ٤,٩
مغ ١,٢ — ١,٨
من ٠,٣ — ٠,٩

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ — ٧٤٥° م
درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٤٨٥° م

* * *

لو — ٤,٥ نح — ٠,٨ من — ٠,٨ س

(السبيكة ٩ جـ)

(ا) **الاستخدامات** : التطبيقات التى تتطلب قابلية كبيرة للتطريق ومتانة عالية . مراوح الطائرات ، أذرع التوصيل المساعدة (فى الطائرات) ، علب المرافق للمحركات نصف القطرية .

(ب) **الكثافة** عند ٢٠° م : ٢,٧٩ جرام/سم٣

(جـ) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤١° م
درجة حرارة خط الجمود : ٥٢١° م
الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (ع٢) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم٢
٣٩٩٠	٢٤٥٠	١٨	١١٠	٧٢٨٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (للمطروقات) (٪) :

نح	٣,٩ — ٥
من	٠,٤ — ١,٢
س	٠,٥ — ١,٢
الشوائب (حد أقصى)	١٪

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٥٧٥ — ٧٤٥°م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٤٨٠°م

* * *

لو — ١٢,٥ س — ١,٠ مغ — ٠,٩ نح — ٠,٩ نك

(السبيكة ١٠ ج)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية كبيرة للطرق وانخفاض معامل التمدد الحرارى.
الكباسات المطروقة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٩ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٧١°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٣٢°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (ع ٢) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم٢
٣٩٢٠	٣٢٢٠	٨	١٢٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (المطروقات) ٪ :

س	١١,٠ — ١٣,٥
نح	٠,٥ — ١,٣
مغ	٠,٨ — ١,٣
نك	٠,٥ — ١,٣

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ — ٧٤٥°م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٤٨٥°م

✻ ✻ ✻

لو — ١,٠ س — ٠,٦ مغ — ٠,٢٥ كر

(السبيكة ١١ جـ)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية للطرق ومتانة كبيرة ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائى . علب المرافق ، أجزاء المصهرات ، أجزاء السيارات والآلات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٩ جرام/سم٣

(جـ) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٩°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٥٢°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (ع ٢) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم٢
٣٢٩٠	٢٨٠٠	٢٠	١٠٠	٧١٤٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

س	٠,٦ — ١,٢
مغ	٠,٤٥ — ٠,٨
كر	٠,١٥ — ٠,٣٥
الشوائب (حد أقصى)	١

(و) النطاق الحرارى للانصهار :

٦٧٥ — ٧٤٥°م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٤٨٠°م .

لو — ٢٫٥ مغ — ٠٫٢٥ كر (السبيكة ١٢ جـ)

(ا) **الاستخدامات :** التطبيقات التى تتطلب قابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة كبيرة للتآكل الكيميائى ، ومتانة معتدلة . خطـوط الوقـود والزيت فى الطائرات ، صهاريج الوقود . وسائل النقل البحرى المتنوعة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٦٨ جرام/سم٣

(جـ) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٩°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٩٣°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠٫٢٣ كالورى/جم

درجة حرارة إعادة التبلور : ٢٩٠°م

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد كجم/ سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢
٢٠٣٠	٩٨٠	٣٠	٤٥	١٢٦٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

مغ	٢٫٢ — ٢٫٨
كر	٠٫١٥ — ٠٫٣٥
(ح+س) حد أقصى	٠٫٤٥

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ — ٧٤٥°م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٥١٠°م .

***

لو – ۳و۱ مغ – ۰و۷ س – ۲٥و کر

(السبيكة ۱۲ جـ)

(ا) الاستخدامات : جميع التطبيقات التي تتطلب قابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائي ، ومتانة متوسطة . معدات تكرير البترول . المنشآت البحرية المختلفة .

(ب) الكثافة عند ۲۰°م : ۲٫٦۹ جم/سم۳

(جـ) درجة حرارة خط السيولة : ٦٥۲°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥۷۹°م

الحرارة النوعية عند ۱۰۰°م : ۰٫۲۳ كالورى/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ۳٤٥°م

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم/سم۲	مقاومة الخضوع كجم/سم۲	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم۲	مقاومة المرونة كجم/سم۲
ع	۱۱۲۰	٤۹۰	۳٥	۲٦	۷۷۰	۷۰۰۰۰۰
ع۱	۲۳۱۰	۱٤۰۰	۳۰	٦٥	۱٤۰۰	۷۰۰۰۰۰
ع۲	۲۷۳۰	۲۳۱۰	۲۰	۸۰	۱٦۸۰	۷۰۰۰۰۰

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

مغ ۱٫۱ – ۱٫٤

كر ۰٫۱٥ – ۰٫۳٥

س (۰٫٤٥–۰٫٦٥) من المغنسيوم

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦۷٥ – ۷٤٥°م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ۲٦۰ – ٥۱۰°م .

لو – ٢,٥ مغ – ١,٠ من – ١,٠ كر

(السبيكة ١٤ جـ)

(ا) **الاستخدامات :** إنتاج الأسلاك التي تتمتع بمقاومة ممتازة للتآكل الكيميائى . البرشمة مع سبائك المغنسيوم . تغليف الكابلات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٤ جم/سم^{3}

(جـ) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨°م
درجة حرارة خط الجمود : ٦٥٨°م
الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جم .

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

	مقاومة الشد كجم/سم^{2}	مقاومة الخضوع كجم/سم^{2}	الاستطالة ٪	معامل المرونة كجم/سم^{2}
*	٢٩٤٠	١٤٠٠	٣٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

مغ	٤,٥ – ٥,٦
من	٠,٠٥ – ٠,٢
كر	٠,٠٥ – ٠,٢

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ – ٧٤٥°م
درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ – ٥١٠°م
المعاملة الحرارية : التلدين عند ٣٤٥°م

لو — ۰٫۱ مغ — ٠٫٦ س — ٠٫٢٥ نح — ٢٥ و كر

(السبيكة ١٥ ج)

(ا) **الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب متانة عالية ، وقابلية كبيرة للتشغيل ، ومقاومة ممتازة للتآكل الكيميائي . صناعة القوارب ، وزوارق السباق ، وقطع الأثاث ، ومعدات النقل .**

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢٫٧ جرام/سم٣

(جـ) درجة حرارة خط السيولة : ٦٥٢° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٨٢° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠٫٢٣ كالورى/جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٣٤٥° م .

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢	معامل المرونة كجم/سم٢
ع	١٢٦٠	٥٦٠	٣٠	٣٠	٨٧٥	٧٠٠٠٠٠
ع١٤	٢٤٥٠	١٤٧٠	٢٨	٦٥	١٦٨٠	٧٠٠٠٠٠
ع٣٤	٣١٥٠	٢٨٠٠	١٥	٩٥	٢١٠٠	٧٠٠٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

مغ	٠٫٨ — ١٫٢
س	٠٫٤ — ٠٫٨
نح	٠٫١٥ — ٠٫٤
كر (حدأقصى)	٠٫٣٥

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٥ — ٧٤٥° م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٥١٠° م

لو – ٥,٥ خ – ٢,٥ مغ – ١,٥ نح – ٠,٣ كر – ٠,٢ من

(السبيكة ١٦ جـ)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب متانة عالية ، ومقاومة كبيرة للتآكل الكيميائى . تستخدم هذه السبيكة فى صناعة بعض أجزاء الطائرة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨ جرام / سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨°م

درجة حرارة خط الجمود : ٤٧٦°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

درجة حرارة إعادة التبلور : ٤١٥°م

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم / سم٢	مقاومة الخضوع كجم / سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم٢	معامل المرونة كجم / سم٢
مبثوقــات						
(ع)	٢٨٠٠	١٤٠٠	١٢	٠٠	٠٠	٧٢٨٠٠٠
(٢ع)	٦١٦٠	٥٦٠٠	١٠	١٥٠	٣٢٩٠	٧٢٨٠٠٠
منتجات أخرى غير مكبسية						
(ع)	٢٣١٠	١٠٥٠	١٢	٠٠	٠٠	٠٠
(٢ع)	٢٢٤٠	٥٠٤٠	١٠	١٥٠	٠٠	٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

	خ	مغ	نح	من	كر
قضبان الألومنيوم :	٥و١ — ٦و١	١و٢ — ٩و٢	٢و١ — ٢	١و٠ — ٣و٠	١٥و٠ — ٤و٠
ألواح مكسية : القلب	٥و١ — ٦و١	١و٢ — ٩و٢	٢و١ — ٢	١و٠ — ٣و٠	١٥و٠ — ٤و٠
والكسوة	٧٥و٠ — ٢٥و١	٠و٠ — ١و٠	٠و٠ — ١و٠	٠٠ — ١و٠	—

(و) النطاق الحرارى الانصهار : ٦٧٥ — ٧٤٥°م

درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٢٦٠ — ٤٥٥°م

* * *

لو — ٤و٦ خ — ٥و٢ مغ — ٢و١ نح

(السبيكة ١٧ جـ)

(ا) **الاستخدامات** : صناعة الطائرات ووسائل النقل الأخرى .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٨٢و٢ جرام / سم٣

(د) الخواص الميكانيكية (ع) :

مقاومة الشد كجم / سم٢	مقاومة الخضوع كجم / سم٢	الاستطالة ٪	معامل المرونة كجم / سم٢
٢١٠٠	١٠٥٠	١٨	٧٢٨٠٠٠

(و) درجة حرارة التشغيل على الساخن : ٣٧٠ — ٤٢٥°م

درجة حرارة التلدين : ٣٥٥ — ٣٧٠°م . يتم التبريد إلى ٢٣٠°م ثم الاحتفاظ بهذه الدرجة لمدة ٤ ساعات .

لـو – ١٢ س

(السبيكة ١ د)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية ممتازة للسباكة ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائى . تدخل فى صناعة مسبوكات الألومنيوم المختلفة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٦٦ جرام / سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٨٥°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٤°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠٫٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للإنصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم / سم٢	مقاومة الخضوع كجم / سم٢	الاستطالة ٪	معامل المرونة كجم / سم٢
٢٥٩٠	١٢٦٠	١٫٨	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

س ١١ – ١٣

الشوائب (حد أقصى) ٢ (ح ، مغ ، من ، خ)

(و) النطاق الحرارى للإنصهـــار : ٦٤٩ – ٧٦٠°م

درجة حرارة السباكة فى قوالب معدنية : ٦٣٥ – ٧٠٤°م

لـو – ٥ س

(السبيكة ٢ د)

(ا) الاستخدامات : السباكة فى قوالب معدنية : التطبيقات التى تتطلب مطيلية مناسبة، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائى .

السباكة فى قوالب رملية ودائمة : التطبيقات التى تتطلب قابلية ممتازة للسباكة ، ومقاومة للتآكل الكيميائى مع متانة مناسبة . أوانى الطبخ ، الأدوات المنزلية، بعض أجزاء المعدات البحرية .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٦٩ جرام / سم^{٣}

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٩°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٧°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠٫٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم / سم^{٢}	مقاومة الخضوع كجم / سم^{٢}	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم^{٢}
السباكة فى قوالب معدنية	٢١٠٠	١٦٨٠	٠٠	٠٠	٠٠
السباكة الرملية	١٣٣٠	٦٣٠	٦	٤٠	٩٨٠
السباكة فى قوالب دائمة	١٦٨٠	٦٣٠	٩	٤٥	١٢٦٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

	س	ح	نح	مغ	من	خ	نك
	الشوائب (حد أقصى)						
السباكة فى قوالب معدنية	٤٫٥–٦	٢	٠٫٦	٠٫١	٠٫٣	٠٫٥	—
السباكة الرملية	٤٫٥–٦	٠٫٨	٠٫١	٠٫٠٥	٠٫١	٠٫٢	٠٫٢
السباكة فى قوالب دائمة	٤٫٥–٦	٠٫٨	٠٫١	٠٫٠٥	٠٫١	٠٫١	٠٫٢

(و) النطاق الحرارى للانصهار :

(السباكة فى قوالب) : ٦٤٩ – ٧٦٠°م

(السباكة الرملية وفى قوالب دائمة) : ٦٧٧ – ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة :

(السباكة فى قوالب) : ٦٣٥ – ٧٠٤°م

(السباكة الرملية وفى قوالب دائمة) : ٦٧٧ – ٧٨٨°م

* * *

لو – ٥ س – ٤ نح

(السبيكة ٣ د)

(ا) **الاستخدامات** : مختلف التطبيقات العادية

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٨ جرام / سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦١٣°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢١°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم / سم٢	مقاومة الخضوع كجم / سم٢	الاستطالة ٪	معامل المرونة كجم / سم٢
٢٨٠٠	١٥٤٠	٣,٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « الصب فى قوالب معدنية » (٪) :

س ٤,٥ – ٥,٥

نح ٣,٥ – ٤,٥

الشوائب (حد أقصى) ٢,٣

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٤٩ – ٧٦٠°م

درجة حرارة السباكة : ٦٣٥ – ٧٠٤°م

لو – ٤ نح – ٣ س (السبيكة ٤ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواصاً سبكية جيدة ، وقابلية جيدة للحام ، ومتانة مناسبة . الصمامات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٩ جرام/سم^{٣}

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٢° م
درجة حرارة خط الجمود : ٥٢١° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية) :

مقاومة الشد كجم/سم^{٢}	مقاومة الخضوع كجم/سم^{٢}	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم^{٢}
١٤٧٠	٩٨٠	٢,٥	٥٥	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية » (٪) :

نـح	٣,٥ – ٤,٥
س	٢,٥ – ٣,٥
الشوائب (حد أقصى)	١

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ – ٨١٦° م
درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ – ٧٨٨° م

لو – ٥ س – ٣ نح
(السبيكة ٥ د)

(أ) **الاستخدامات** : الأغراض العامة التى تستخدم فيها السباكة الرملية والسباكة فى قوالب دائمة ، حيث لا تلزم معاملة حرارية لتحسين خواصها الميكانيكية .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٦ جرام/سم^{٣}

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم/سم^{٢}	مقاومة الخضوع كجم/سم^{٢}	الاستطالة ٪
	السباكة الرملية		
بعد الصب مباشرة	١٨٩٠	٩٨٠	٢,٥
بعد إزالة الإجهادات	٢٠٣٠	١٢٦٠	٢
بعد معاملتها حراريا وتعتيقها	٢٤٥٠	١٤٠٠	٤
بعد معاملتها حراريا وإزالة الإجهادات	٢٥٩٠	١٦١٠	٢,٥
	السباكة فى قوالب دائمة		
بعد الصب مباشرة	٢٤٥٠	١٢٦٠	٣
بعد إزالة الإجهادات	٢٥٩٠	١٥٤٠	٢
بعد معاملتها حراريا وتعتيقها	٢٩٤٠	١٥٤٠	٥
بعد معاملتها حراريا وإزالة الإجهادات	٢٩٤٠	١٦١٠	٣

(ه) الحدود الكيميائية : « السباكة الرملية والسباكة فى قوالب دائمة » (٪) :

س	٤,٥ – ٦
نح	٢,٥ – ٣,٥
الشوائب (حد أقصى)	٠,٢

لو - ٥,٥ س - ٤,٥ نح (السبيكة ٦ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواصا سبكية جيدة ، وقابلية حسنة لحام ، ومتانة مناسبة . أغراض الزينة والزخارف ، الأغراض العامة لمصبوبات الألومنيوم

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧٩ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦١٦° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥١٦° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم٢
١٩٦٠	١١٢٠	٢	٧٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة فى قوالب دائمة » (٪) :

س	٥ - ٦
نح	٤ - ٥
الشوائب (حد أقصى)	١

(و) النطاق الحرارى للانصهار ٥٧٧ - ٨١٦° م

درجة حرارة السباكة ٦٧٧ - ٧٨٨° م

لو — ٧ نح — ٢ س — ١,٧ خ
(السبيكة ٧ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التي تتطلب خواصاً سبكية جيدة ، وقابلية عالية جدا للتشكيل . الأغراض المختلفة لمصبوبـــات الألومنيوم التي تتطلب إحكاما للضغط .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٩١ جرام/سم^{٣}

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٩°م
درجة حرارة خط الجمود : ٥٢٤°م
الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام
الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية) :

مقاومة الشد كجم/سم^{٢}	مقاومة الخضوع كجم/سم^{٢}	الاستطالة ٪	الصـلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم^{٢}
١٦٨٠	١٠٥٠	١,٥	٧٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية » (٪) :

نح	٦ — ٨
س	١ — ٣
خ (حد أقصى)	٢,٥
الشوائب (حد أقصى)	١,٤

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ — ٨١٦°م
درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ — ٧٨٨°م

لو – ٧ نح – ٣,٥ س
(السبيكة ٨ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواصاً سبكية جيدة ، وقابلية عالية للتشكيل . قلابات مكنات الغسيل ، رؤوس الاسطوانات فى محركات السيارات .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٩١ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٩° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢٤° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	معامل المرونة كجم/سم٢
٢١٠٠	١٦٨٠	١	٨٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة فى قوالب رملية » (٪) :

نح : ٦ – ٨

س (حد أقصى) : ٤

الشوائب (حد أقصى) : ١,٤

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ – ٨١٦° م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ – ٧٨٨° م

* * *

لو – ١٠ نخ – ٠,٢ مغ
(السبيكة ٩ د)

(أ) الأستخدامات : التطبيقات التى تتطلب متانة عالية عند درجات الحرارة العالية ، وصلادة كبيرة ، ومقاومة للبرى والتآكل ، وقابلية جيدة للتشكيل . رؤوس الاسطوانات التى تبرد بالهواء . الكباسات فى محركات السيارات . الجلب ووصلات المواسير .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٩٥ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٧° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٤١° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠٫٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية ، منتجات أجرى تخميرها) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عددبرينل)	مقاومةالقص كجم/سم٢	معامل المرونة كجم/سم٢
١٨٩٠	١٤٠٠	١	٨٠	١٤٧٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

-	نح	مغ	الشوائب (حد أقصى)			
			ح	س	من	خ
السباكة الرملية	٩٫٢–١٠٫٨	٠٫١٥–٠٫٣٥	١٫٥	٢	٠٫١	٠٫١
السباكة فى قوالب دائمة	٩٫٢–١٠٫٧	٠٫١٥–٠٫٣٥	١٫٥	—	٠٫٣	٠٫٤

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ – ٨١٦ م

درجة حرارة السباكة :

١ – سباكة رملية : ٦٧٧ – ٧٨٨° م

٢ – قوالب دائمة : ٦٧٧ – ٧٨٨° م

* * *

لو – ١٢ س – ٢٫٥ نك – ١٫٢ مغ – ٠٫٨ خ
(السبيكة ١٠ د)

(المسبوكات فى قوالب دائمة)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب متانة عالية عند درجات الحرارة المرتفعة ومعامل تمدد حرارى صغير ، ومقاومة جيدة للتآكل والبلى . الكباسات فى محركات البنزين والديزل .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٦٨ جرام / سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٩١°م
درجة حرارة خط الجمود : ٥٣٨°م
الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام
الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم / سم ٢	مقاومة الخضوع كجم / سم ٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم ٢	معامل المرونة كجم / سم ٢
٢٥٢٠	١٩٦٠	٠,٥	١٠٥	١٦٨٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

س	نح	مغ	نك	شوائب (حد أقصى)
١١ — ١٣	٠,٥ — ١,٥	٠,٧ — ١,٣	٢ — ٣	١,٣

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ — ٦١٨°م
درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ — ٦٨٨°م

* * *

لو — ١٢ س — ١,٥ نح — ٠,٧ من — ٠,٧ مغ .
(السبيكة ١١ د)

(ا) الاستخدامات : الكباسات فى آلات الاحتراق الداخلى التى تجمع بين المتانة العالية عند درجات الحرارة المرتفعة ، وضآلة معامل التمدد الحرارى .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧ جرام / سم ٣

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم / سم^2	مقاومة الخضوع كجم / سم^2	الإستطالة %	الصلادة (عدد برينل)
(٢ع)	٣٠١٠	٢٦٦٠	١	١٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (%) :

نج	مغ	من	س
١ — ٢	٠,٤ — ١	٠,٥ — ٠,٩	١١ — ١٣

❋ ❋ ❋

لو — ٤ نج — ٢ نك — ١,٥ مغ
(السبيكة ١٢د)

(ا) **الاستخدامات** : التطبيقات التي تتطلب متانة ممتازة عند درجات الحرارة العالية . كباسات الموتوسيكلات ومحركات الديزل والطائرات . رؤوس الأسطوانات التي تبرد بالهواء . غلفة المولدات الكهربائية في الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨١ جرام / سم^3

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٩°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٣٥°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

مقاومة الشد كجم / سم^2	مقاومة الخضوع كجم / سم^2	الإستطالة %	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم^2	معامل المرونة كجم / سم^2
			السباكة الرملية		
١٨٩٠	١٢٦٠	١	٧٠	١٤٧٠	٧٢١٠٠٠
			السباكة في قوالب دائمة		
٢٨٠٠	٢٣٨٠	١	١٠٥	١٨٢٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

نح	٣,٥ — ٤,٥
مغ	١,٢ — ١,٨
نك	١,٧ — ٢,٣
الشوائب (حد أقصى)	٢,١

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ — ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ — ٧٨٨°م

* * *

لـو — ٤,٥ نح

(السبيكة ١٣د)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواص شد ممتازة وقابلية عالية للتشكيل . علب الحدافات ، علب المحاور الخلفية ، عجلات السيارات ، عجلات الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨١ جرام / سم^{٣}

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٦°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٤٩°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم / سم^{٢}	مقاومة الخضوع كجم / سم^{٢}	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم^{٢}	معامل المرونة كجم / سم^{٢}
(ع١)	٢٢٤٠	١١٢٠	٨,٥	٦٠	١٦٨٠	٧٢١٠٠٠
(ع٢)	٢٥٢٠	١٦٨٠	٥	٧٥	٢١٠٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « سباكة رملية » (٪) :

نح	٤ — ٥
الشوائب (حد أقصى)	١,٥ (ح ، س ، مغ ، خ)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ — ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ — ٧٨٨°م

لـو – ٥ر٤ نح – ٥ر٢ س
(السبيكة ١٤د)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواص شد ممتازة وقابلية عالية للتشكيل . أجزاء ضبط مدفع الطائرة . عجلات الطائرات . هياكل المقاعد فى عربات السكك الحديدية . أذرع التوصيل فى الكباسات . مضخات الوقود .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٧٨ جم / سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٧°م
درجة حرارة خط الجمود : ٥٢٧°م
الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠٫٢٣ كالورى / جرام
الحرارة الكامنة للإنصهار : ٩٣ كالورى جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

	مقاومة الشد كجم / سم٢	مقاومة الخضوع كجم / سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم٢
(ع١)	٢٨٠٠	١٥٤٠	١٠	٧٥	٢١٠٠
(ع٢)	٣١٥٠	٢٣١٠	٥	٩٠	٢٢٤٠
(ع٣)	٢٨٢٠	١٤٠٠	٤٫٥	٨٠	٠٠

معامل المرونة : ٧٢١٠٠٠ كجم / سم٢

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة فى قوالب دائمة » (٪) :
نح ٤–٥
س ٢–٣

(و) النطاق الحرارى الانصهار : ٦٧٧ – ٨١٦°م
درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ – ٧٨٨°م

لـو − ٣٫٨ مغ
(السبيكة ١٥ د)

(ا) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب مقاومة ممتازة للتآكل الكيميائى ، ولمعاناً دائماً لا ينطفئ . أدوات حفظ وتصنيع الألبان ، وأوانى الطعام ، وأوانى الطهى . لوازم الأعمال الصحية والكيميائية .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٦٥ جرام / سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤١°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٩°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠٫٢٣ كالورى / جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى / جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية) :

مقاومة الشد كجم / سم٢	مقاومة الخضوع كجم / سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم / سم٢	معامل المرونة كجم / سم٢
١٧٥٠	٨٤٠	٩	٥٠	١٤٠٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية » (٪) :

مغ ٣٫٢ − ٤٫٣

الشوائب (حد أقصى) (٠٫١٪ نخ ، ٠٫٦٪ ح ، ٠٫٣٪ س)

(و) النطاق الحرارى للإنصهار : ٦٧٧ − ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ − ٧٨٨°م

* * *

لو − ٣٫٨ مغ − ١٫٨ خ
(السبيكة ١٦ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب مقاومة جيدة للتآكل الكيميائى وانطفاء البريق . أدوات الطهى .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٦٥ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٣٨°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٦٦°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠ °م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢	معامل المرونة كجم/سم٢
١٨٩٠	١١٢٠	٧	٦٠	١٥٤٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية «السباكة فى قوالب دائمة» (٪) :

مغ ٣,٥–٤,٣

خ ١,٤–٢,٢

الشوائب (حد أقصى) (٠,١٪ نح ، ٠,٣٪ س ، ٠,٤٪ ح)

(و) النطاق الحرارى للانصهار ٦٧٧ – ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة ٦٧٧ – ٧٨٨°م

* * *

لو – ٨ مغ
(السبيكة ١٧ د)

(أ) **الاستخدامات** : التطبيقات التى تتطلب خواصا ميكانيكية ممتازة ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائى ، وخواصاً تشطيبية جذابة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م ٢,٥٣ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢١°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٤١°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٢ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب معدنية) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	معامل المرونة كجم/سم٢
٢٩٤٠	٢٣١٠	٧	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة فى قوالب معدنية » (٪) :

مغ ٧,٥ — ٨,٥

الشوائب (حد أقصى) (٠,٨ ح ، ٠,٢ نح ، ٠,٣ س ، ٠,١ من)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٤٩ — ٧٦٠° م

درجة حرارة السباكة : ٦٣٥ — ٧٠٤° م

❋ ❋ ❋

لو — ١٠ مغ
(السبيكة ١٨ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية ممتازة للتشكيل ومقاومة عالية للتآكل الكيميائى مع متانة ومطيلية كبيرتين . هياكل عربات الركاب فى السكك الحديدية .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٥٨° م

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢١° م

درجة حرارة خط الجمود : ٤٩٩° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية للسبيكة ع ١) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢	معامل المرونة كجم/سم٢
٣٢٢٠	١٧٥٠	١٤	٧٥	٢٣١٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية » (٪) :

مغ ١٠,٦-٩,٥

الشوائب (حد أقصى) (٠,٢ نح ، ٠,٣ ح ، ٠,٢ س ، ٠,١ من)

* تؤدى زيادة نسبة النحاس أو النيكل فى هذه السبيكة ، إلى انخفاض المقاومة للتآكل الكيميائى ، كما تؤدى زيادة نسبة الحديد ، أو السيليكون ، أو المنجنيز ، إلى انخفاض الخواص الميكانيكية .

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ - ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ - ٧٨٨°م

❋ ❋ ❋

لو - ٦ س - ٣,٥ نح
(السبيكة ١٩ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواصا سبكية جيدة ، وقابلية كبيرة للحام ، ومتانة مناسبة ، رؤوس اسطوانات السيارات . علب المرافق فى محركات الاحتراق الداخلى .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٧ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٠٤°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥١٠°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية ، والسباكة فى قوالب دائمة) :

	مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢
السباكة الرملية					
دون معاملة حرارية	١٨٩٠	١٢٦٠	٢	٧٠	١٦٨٠
(ع ٢)	٢٥٢٠	١٦٨٠	٢	٨٠	...
السباكة فى قوالب دائمة					
دون معاملة حرارية	٢٣٨٠	١٣٣٠	٢,٥	٨٥	١٦٨٠
(ع ٢)	٢٨٠٠	١٨٩٠	٣	٩٥	...

معامل المرونة : ٧٢١٠٠٠ كجم/سم٢

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية ، والسباكة فى قوالب دائمة » (٪) :

نح	٢,٥–٤,٥
س	٥ – ٧
الشوائب	(١,٢ ح ، ٠,٥ مغ ، ٠,٨ من ، ١ خ)

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ – ٨١٦° م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ – ٧٨٨° م

* * *

لو – ٥ س – ١,٣ نح – ٠,٥ مغ (السبيكة ٢٠ د)

(أ) **الاستخدامات** : التطبيقات التى تتطلب قابلية جيدة للسباكة واللحام . أغطية الشحانات فى الطائرات ، أجسام مضخات الوقود ، كباسات ضغاطات الهواء ، رؤوس الإسطوانات التى تبرد بالماء . علب المرافق لمحركات الطائرات التى تبرد بواسطة السوائل . الدثارات المائية .

(ب) الكثافة عند ٢٠° م : ٢,٧ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٢٧° م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٩° م

الحرارة النوعية عند ١٠٠° م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية ، والسباكة فى قوالب دائمة) :

	مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢
	السباكة الرملية				
(ع ٢)	٢٤٥٠	١٧٥٠	٢,٥	٨٠	٢١٠٠
(ع ٣)	٢٦٦٠	٢٥٢٠	٠,٥	٨٥	١٨٢٠
	السباكة فى قوالب دائمة				
(ع ٢)	٣٠١٠	١٨٩٠	٤	٩٠	٢١٠٠
(ع ٣)	٢٨٠٠	٢١٠٠	٢	٨٥	٢١٠٠

معامل المرونة : ٧٢١٠٠٠ كجم/سم٢

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية والسباكة فى قوالب دائمة » (٪) :

س	نح	مـغ	الشوائب (حد أقصى)			
			ح	من	ح	تى
٤٫٥—٥٫٥	١—١٫٥	٠٫٤—٠٫٦	٠٫٦	٠٫١	٠٫١	٠٫٢

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ – ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ – ٧٨٨°م

❋ ❋ ❋

لو ١ س – ٠٫٣ مـغ
(السبيكة ٢١ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب قابلية ممتازة للسباكة واللحام ، ومقاومة عالية للتآكل الكيميائى . أجزاء مضخات الطائرة ، بعض التركيبات الميكانيكية وأجزاء التحكم فى الطائرات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٦٨ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦١٠°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٩°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠٫٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية :

	مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢
		السباكة الرملية			
(ع ٢)	٢٣١٠	١٦٨٠	٤	٧٠	١٨٩٠
(ع ٣)	٢٣٨٠	٢١٠٠	٢	٧٥	١٢٦٠
		السباكة فى قوالب دائمة			
(ع ٢)	٢٨٠٠	١٨٩٠	٥	٩٠	...
(ع ٣)	٢٣١٠	...	٥	٧٠	...

معامل المرونة ٧٢١٠٠٠ كجم/سم٢

(هـ) الحدود الكيميائية « السباكة الرملية والسباكة فى قوالب دائمة » (٪) :

س	مغ	الشوائب (حد أقصى)				
		نح	ح	من	خ	تى
٦,٥—٧,٥	,٢—٠,٤	٠,٢	٠,٦	٠,١	٠,١	٠,٢

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ — ٨١٦°م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ — ٧٨٨°م

لو – ٨ س – ١,٥ نح – ٠,٣ مغ – ٠,٣ من
(السبيكة ٢٢ د)

(أ) **الاستخدامات :** الأغراض العامة للسباكة الرملية والسباكة فى قوالب دائمة لسبيكة الألومنيوم . سباكة محركات الاحتراق الداخلى ، والأجزاء الأخرى من الآلات التى تتعرض لإجهادات عالية عند درجات الحرارة المرتفعة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٣ جرام/سم^{٣}

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية والسباكة فى قوالب دائمة) :

	مقاومة الشد كجم/سم^{٢}	مقاومة الخضوع كجم/سم^{٢}	الاستطالة ٪
	السباكة الرملية		
بعد إزالة الإجهادات	٢١٠٠	١٤٧٠	١,٥
بعد تذاوب المكونات وتعتيقها	٢٧٣٠	٢١٠٠	١,٥
	السباكة فى قوالب دائمة		
بعد إزالة الإجهادات	٢٥٢٠	...	١
بعد تذاوب المكونات وتعتيقها	٣٠٨٠	١٨٩٠	٤

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

نح	١ – ٢
مغ	٠,٢–٠,٦
من	٠,٢–٠,٦
س	٠,٧–٨,٦
ق	٠,٣٪ (حد أقصى)

❋ ❋ ❋

لو – ٩,٥ س – ٠,٥ مغ
(السبيكة ٢٣ د)

(أ) **الاستخدامات :** التطبيقات التى تتطلب قابلية ممتازة للسباكة ومقاومة عالية للتآكل الكيميائى . مختلف المسبوكات التى تتميز بجدرانها وسمكها الرقيق .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٦٨ جرام/سم^{٣}

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٩١°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٦٦°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب معدنية):

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	معامل المرونة كجم/سم٢
٢٩٤٠	١٦١٠	١,٨	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪):

س ٩ — ١٠

مغ ٠,٤ — ٠,٦

الشوائب (حد أقصى) ٢,٠ ح ، ٠,٦ نح ٠,٣ من

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٤٩ — ٧٦٠ °م

درجة حرارة السباكة : ٦٣٥ — ٧٠٤ °م

* * *

لو — ٨,٥ س — ٣,٥ نح

(السبيكة ٢٤ د)

(أ) **الاستخدامات** : التطبيقات للأغراض العامة التى تتطلب قابلية جيدة للسباكة .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٧٦ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٥٨٨°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٢١°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب معدنية):

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	معامل المرونة كجم/سم٢
٣١٥٠	١٧٥٠	٢	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

س	٧٫٥–٩٫٥
نح	٣ – ٤
الشوائب (حد أقصى)	٢ ح ، ١ر٠ مغ ، ٥ر٠ من

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٤٩ – ٧٦٠°م

درجة حرارة السباكة : ٦٣٥ – ٧٠٤°م

* * *

لو – ٦٫٥ ق – ١ نح – ١ نك
(السبيكة ٢٥ د)

(أ) الاستخدامات : التطبيقات التى تتطلب خواصا تحميلية ممتازة . الحامل وكراسى التحميل ، الجلب ، وصلات المواسير .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢٫٨٩ جرام/سم^{٣}

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٦٤٩°م

درجة حرارة خط الجمود : ٢٣٢°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠٫٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة فى قوالب دائمة) :

مقاومة الشد كجم/سم^{٢}	مقاومة الخضوع كجم/سم^{٢}	الاستطالة ٪	الصلادة (عددبرينل)	مقاومة القص كجم/سم^{٢}	معامل المرونة كجم/سم^{٢}
١٥٤٠	٧٠٠	١٢	٤٥	٩٨٠	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

ق	٥٫٥ – ٧
نح	٠٫٧ – ١٫٣
نك	٠٫٧ – ١٫٣

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ١٤٩ – ٧٣٢°م

درجة حرارة السباكة : ٦٤٩ – ٧٠٤°م

لو – ٥,٥ خ – ٠,٦ مغ – ٠,٥ كر – ٠,٢ ق
(السبيكة ٢٦ د)

(أ) **الاستخدامات :** التطبيقات التي تتطلب خواصاً ميكانيكية جيدة دون حاجة إلى معاملة حرارية . المقاومة للصدمات والتآكل الكيميائي ، قابلية التشغيل ، ثبات الأبعاد . كباسات ضغاطات الهواء ، أجزاء الآلات والمكنات التي تتعرض للصدمات .

(ب) الكثافة عند ٢٠°م : ٢,٨١ جرام/سم٣

(ج) درجة حرارة خط السيولة : ٧٦٠°م

درجة حرارة خط الجمود : ٥٧٢°م

الحرارة النوعية عند ١٠٠°م : ٠,٢٣ كالورى/جرام

الحرارة الكامنة للانصهار : ٩٣ كالورى/جرام

(د) الخواص الميكانيكية (السباكة الرملية) :

مقاومة الشد كجم/سم٢	مقاومة الخضوع كجم/سم٢	الاستطالة ٪	الصلادة (عدد برينل)	مقاومة القص كجم/سم٢	معامل المرونة كجم/سم٢
٢٤٥٠	١٧٥٠	٥	٨٠	١٩٤٦	٧٢١٠٠٠

(هـ) الحدود الكيميائية (٪) :

خ ٥ – ٦

مغ ٠,٥–٠,٦٥

كر ٠,٤–٠,٦

ق ٠,١–٠,٣

(و) النطاق الحرارى للانصهار : ٦٧٧ – ٨٠٢°م

درجة حرارة السباكة : ٦٧٧ – ٨٠٢°م

الباب السـابع

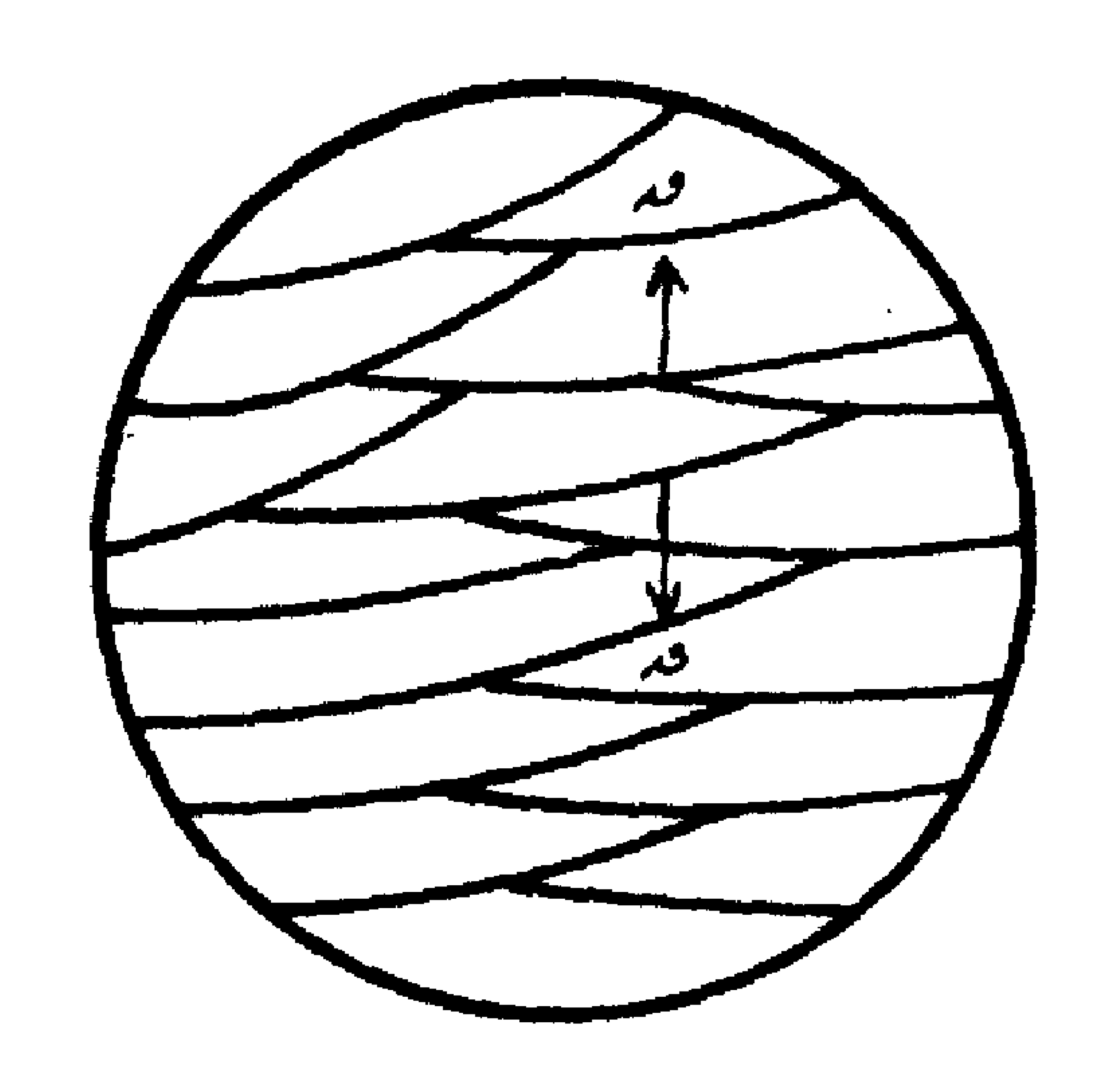
تآكل سبائك الالومنيوم وتاثير الاجهادات الداخلية

يمكن القول عموماً بأن مقدار الإجهاد الذى يلزم لإحداث تصدعات مؤثرة داخل بنية المعدن يكون كبيراً ، ويتراوح بين نصف إلى ثلاثة أرباع مقدار مقاومة الخضوع للمعدن ، كما يجب أن يستمر هذا الإجهاد مسلطاً على المعدن لفترة زمنية كافية . وعليه فإن الإجهادات التى تتولد عن الأحمال العادية التى يجرى تطبيقها فى الحياة العملية ، نادراً ما تسبب تصدع بنية المعدن . وفى أغلب الأحوال ، فإنه من المرجح أن تسبب الإجهادات الزائدة التى تتخلف عن عمليات التسقية ، والتشكيل ، واللحام وغيرها ، مثل هذه الظاهرة .

وعلى وجه العموم ، فإنه من المتفق عليه أن تدهور المعدن ينتج عن إجهادات شد ، أو على الأقل ، إجهادات لها مركبات شد تؤثر بدرجة كافية على سطح المعدن ، حيث تتوافر مباشرة مع ظروف أكالة ، مثل هذه الإجهادات تميل كثيراً لإحداث تصدعات هدامة فى بنية المعدن ، عندما تؤثر فى اتجاه مستعرض مع الألياف الطولية للبنية المعدنية .

فمثلا ، فى حالة المواسير المصنوعة من سبائك الألومنيوم التى تعرضت للمعاملة الحرارية ، فإن الإجهادات المستعرضة تبلغ نصف قيمة الإجهادات الطولية ، ومن ثم يحدث التآكل لتصدع بنية السبيكة نتيجة الإجهادات الطولية ، بسبب إجهادات مستعرضة أقل منه ، وفى الواقع ، فإن هذه الإجهادات المستعرضة تعمل على سحب وفصل ألياف البنية المعدنية بعيداً عن بعضها ، مما يؤدى إلى حدوث تصدعات تؤدى إلى مزيد من تدهور المعدن (كما فى الشكل ١١١) ، وبهذه الكيفية ينعدم وجود أية تصدعات أو شروخ مستعرضة فى بنية المعدن .

وفى كثير من المعادن التى تتعرض لهذه الإجهادات الداخلية المتخلفة عن عمليات المعاملة الحرارية وأساليب التشكيل ، فإنه من الممكن إزالة هذه الإجهادات ، أو على الأقل تخفيف حدتها ، ويتم ذلك بمعاملة المعدن حرارياً بطريقة ملائمة ، حيث يجرى تسخينه إلى مادون درجة الحرارة اللازمة لإعادة تبلوره . ولكن لسوء الحظ ، فإنه عنداتخاذ هذا الإجراء لسبائكالألومنيوم التى عوملت حرارياً تفسد الخواص الميكانيكية ، وتنخفض مقاومة المعدن لعوامل التآكل المختلفة لهذه السبائك ، نتيجة



شكل (١١١)
تتسبب الإجهادات الزائدة التى تتخلف عن عمليات التسقية ، والتشكيل ، والحام وغيرها . . فى تعرض سبائك الألومنيوم لقوى شد تؤدى إلى تصدع بنية المعدن ، وفى النهاية تؤدى إلى انهيار السبيكة كلية

لرفع درجة حرارتها إلى ما دون درجة حرارة إعادة التبلور ، ولذلك فإنه فى كثير من الأحيان ، يجرى تشكيل هذه السبائك بعد تسقيتها مباشرة .

وعند إجراء المعاملة الحرارية لقطع من المنتجات التى لها مقاطع مستعرضة كبيرة ، فإنه يتحتم تسقيتها سريعاً ، فى ماء بارد ، حتى تكتسب أقصى مقاومة للتآكل ، ولكن ذلك يؤدى – من ناحية أخرى – إلى تخلف إجهادات حادة بها .

وقد وجد عملياً أنه فى حالة بعض المشغولات كبيرة الحجم ، يفضل لبعض سبائك الألومنيوم ، أن تتم عملية التسقية فى ماء يغلى حتى يتلافى خلق الإجهادات الحادة التى من شأنها أن تؤدى إلى تصدع بنية السبيكة وتدهورها .

العامل الكهروكيميائى :

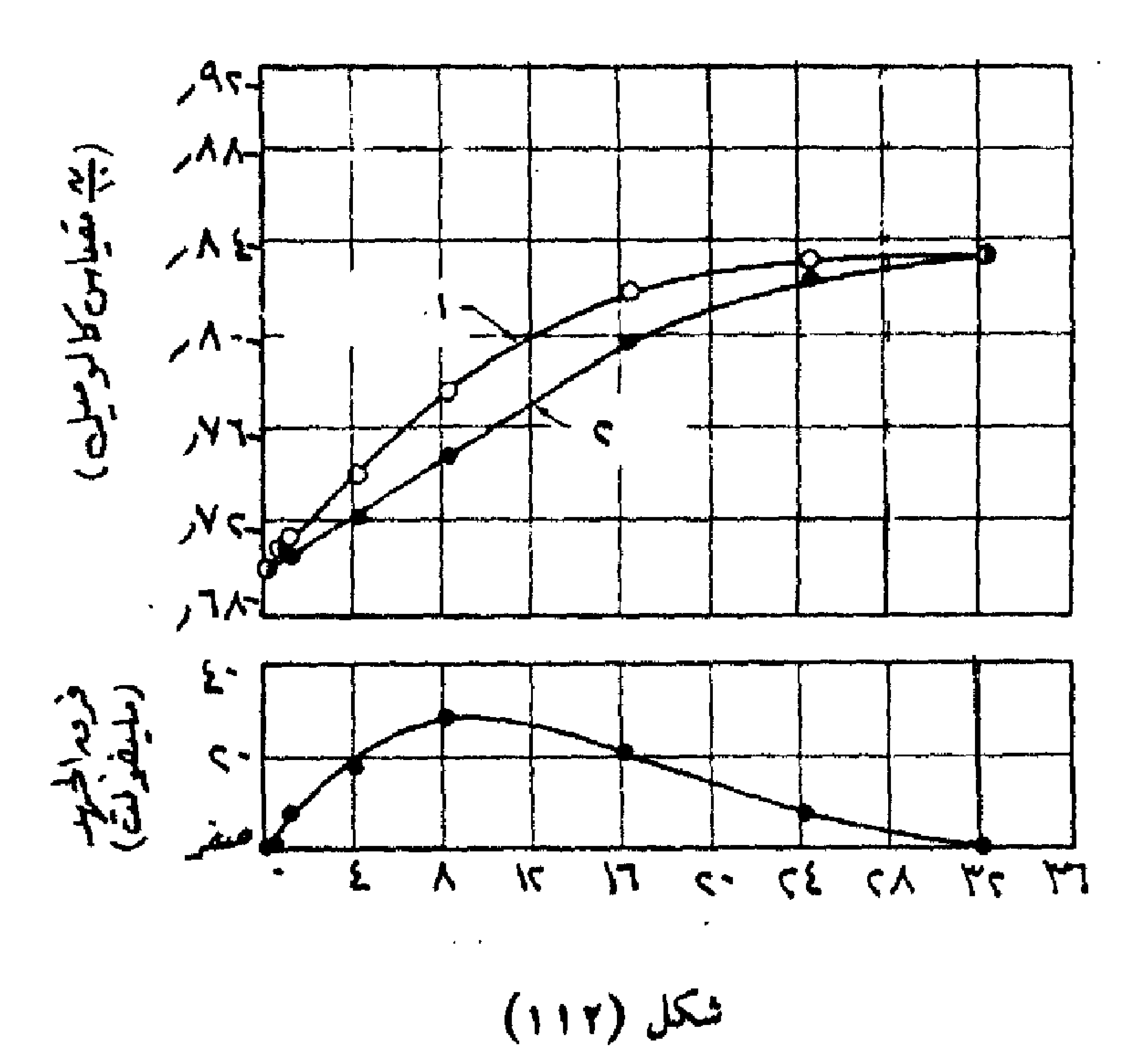
يمكن توضيح أهمية العلاقات الكهروكيميائية التى تنشأ داخل التركيب البنيانى للفلز أو السبيكة ، باعتبار تأثير المعاملات الحرارية على قابلية سبيكة من الألومنيوم والنحاس للتصدع ، نتيجة للإجهادات الناشئة وتأثيرها على تآكل هذه السبيكة .

وفى سبيكة من الألومنيوم والنحاس تحتوى على ٤٪ من النحاس ، يتغير فرق الجهد القطبى للسبيكة من حوالى – ٠,٨٤ فولت إلى – ٠,٦٩ فولت ، نتيجة لتذويب مكونات هذه السبيكة فى محلول ميتالورجى متجانس من الألومنيوم والنحاس .

ومن الممكن إجراء التعتيق الإزمانى اصطناعياً عند درجة حرارة ١٩٠°م ، وبذلك تترسب أصناف (أطوار) جديدة من المحلول المتجانس ، مما يرفع من قيمة الجهد القطبى للسبيكة أو على الأقل يغيرها.

ومن الممكن قياس الجهد عند الحدود الحبيبية وفى مراكز الحبيبات البلورية ، ويبين الشكل (١١٢) تغير الجهد القطبى عند الحدود الحبيبية ، وفى مراكز الحبيبات على امتداد الفترة الزمنية

للتعتيق تحت ١٩٠°م ، مما ينشأ عنه ترسب بعض الأصناف الجديدة على الحدود الحبيبية ، بسرعة أكبر من ترسب هذه الأصناف داخل الحبيبات نفسها ، ومن ثم تصبح حدود الحبيبات أكثر أنودية (أكثر إيجابية للشحنة الكهربائية) عن مراكز الحبيبات . وباستمرار عملية التعتيق ، نصل إلى أقصى فرق فى الجهد بين حدود الحبيبات ومراكزها ، كما يتضح من المنحنى على الرسم البيانى الأسفل ، بعد تعتيق هذه السبيكة لمدة ٨ أو ٩ ساعات عند هذه الدرجة من الحرارة (١٩٠°م) . وبتعدى هذه الفترة ، يبدأ الترسيب داخل مراكز الحبيبات ، بنفس المعدل الذى يحدث به على طول حدود الحبيبات . وبتسخين السبيكة لمدة ٣٢ ساعة (تقريباً) ، يفترض إتمام الترسب بالكامل سواء داخل الحبيبات أو على حدودها . ومن ثم ينخفض الفرق فى الجهد القطبى بينهما عملياً إلى الصفر تقريباً .

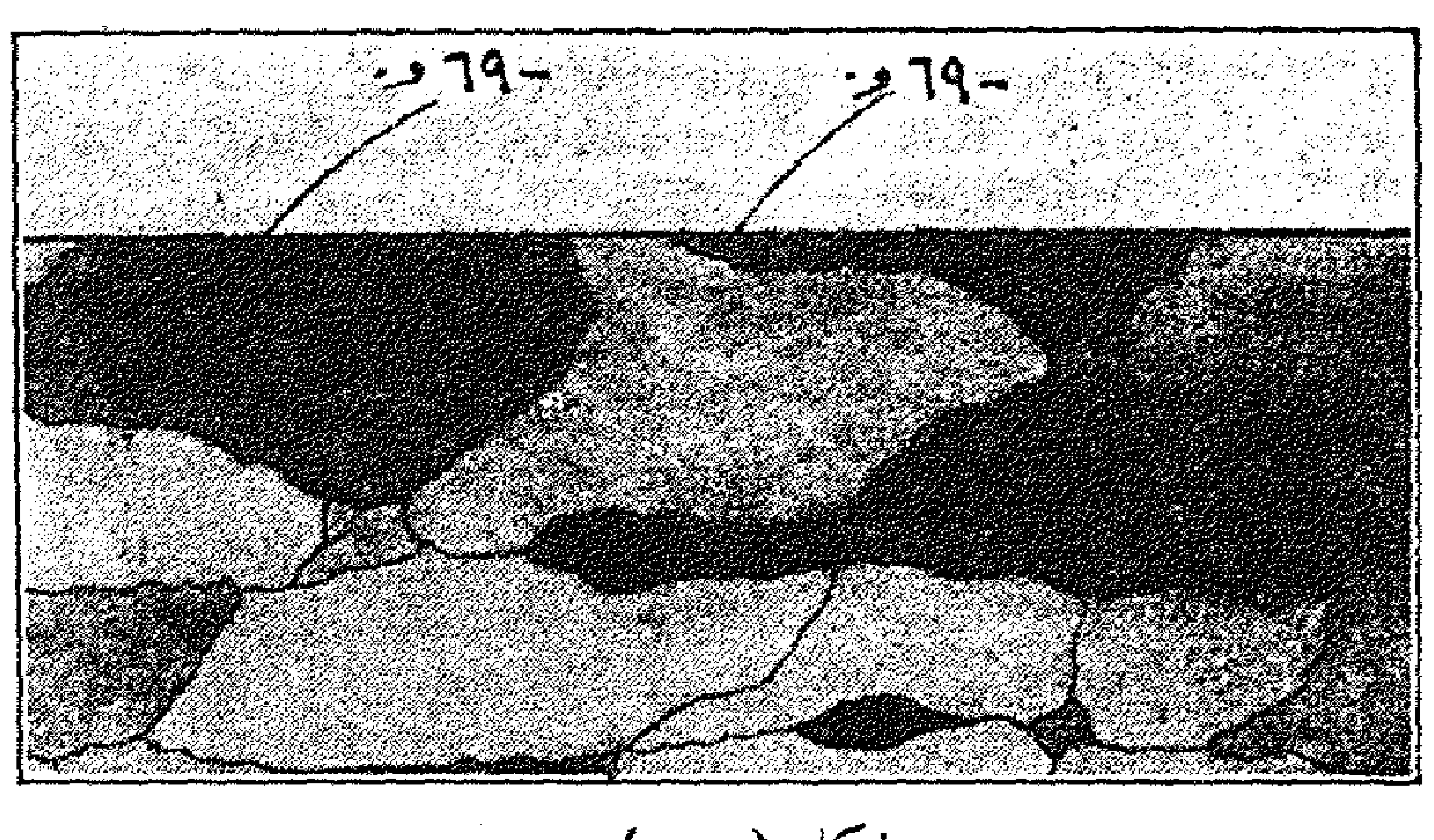


شكل (١١٢)

تغير الجهد القطبى عند الحـــدود الحبيبة وفى مراكز الحبيبات بمرور الوقت عند ١٩٠°م

١ – الحدود بين الحبيبات ٢ – مركز الحبيبات

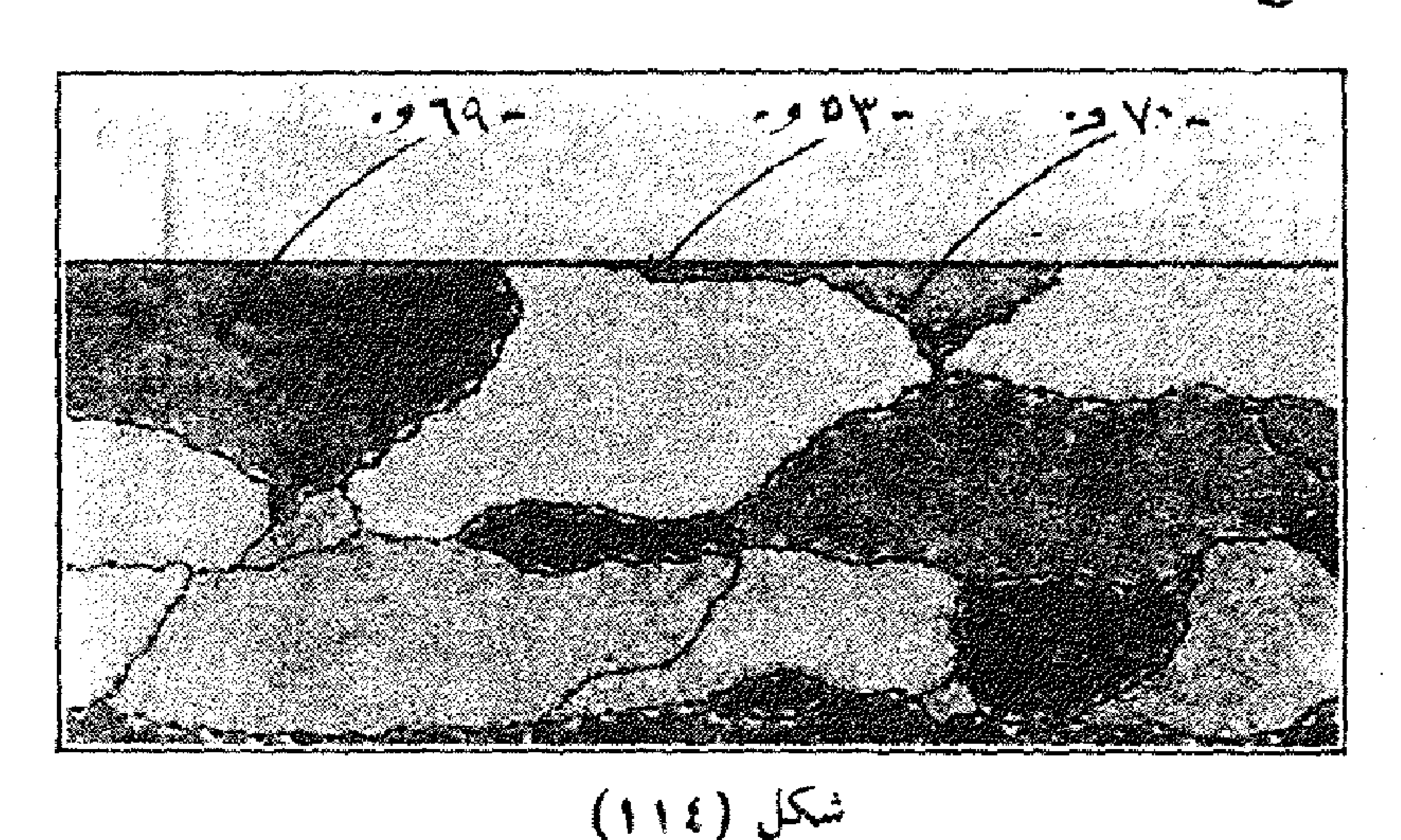
وتوضح الرسومات التوضيحية فى الأشكال (١١٣ ، ١١٤ ، ١١٥ ، ١١٦) التغيرات التى تطرأ على التركيب البنيانى للسبيكة ، ومن ثم تؤثر على الجهد القطبى له . ويوضح الشكل (١١٣) محلولا ميتالورجياً متجانساً من النحاس والألومنيوم ، تكون نتيجة تسقية سريعة ، تبعتها معاملة حرارية لإذابة المكونات والأصناف (الأطوار) المختلفة فى محلول متجانس ، ويبلغ الجهد القطبى – ٠,٦٩ فولت سواء داخل الحبيبات البلورية ، أو على حدودها .



شكل (١١٣)

رسم توضيحي للبنيان المجهري لسبيكة من الألومنيوم والنحاس (٤ ٪ نحاس) . ويبين الرسم التوزيع المنتظم للمحلول الجامد بعد اجراء عملية تسقية سريعة فور تذاوب المكونين في محلول متجانس ، ومن ثم نرى أن الجهد القطبي داخل الحبيبات يساوى تماما الجهد القطبي للحدود بين الحبيبات

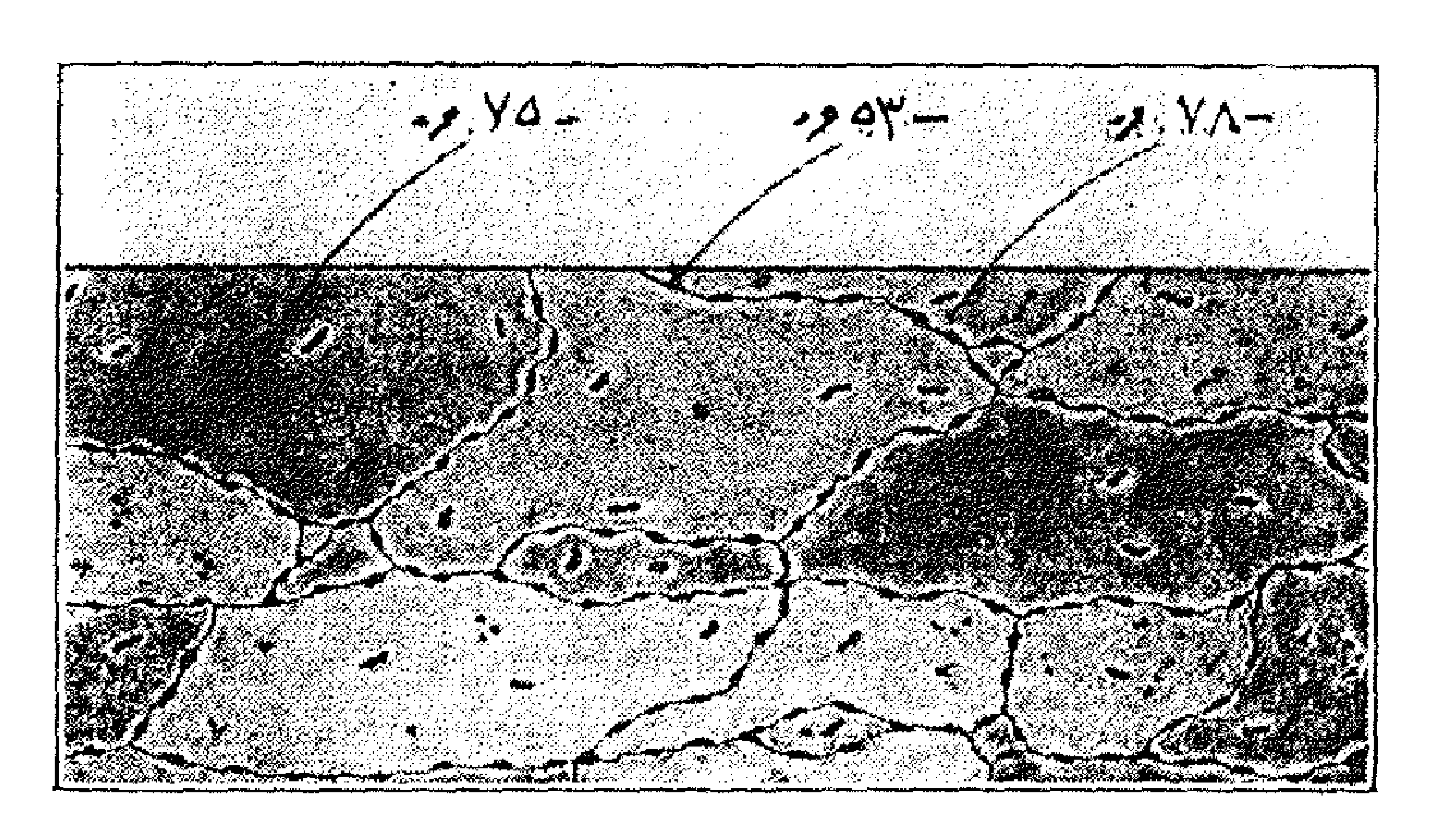
ويوضح الشكل (١١٤) بداية الترسب خلال الساعات الأولى للتسخين إلى ١٩٠°م على طول الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، ونتيجة لذلك لم يتغير الجهد القطبي للحبيبات بصورة ملموسة ، بينما أصبح الجهد القطبي للأصناف الجديدة المترسبة على الحدود بين الحبيبات أكثر أنودية (أكثر إيجابية) حيث يبلغ - ٠,٥٣ فولت .



شكل (١١٤)

نفس السبيكة كما في الشكل السابق (١١٣) ، بعد تعريضها لفترة تسخين قصيرة ، مما نجم عنه بدء ترسب صنف (طور) جديد على الحدود بين الحبيبات . يحيط بكل جسيم من الصنف المترسب بعض المحلول الجامد أكثر أنودية من المتبقي

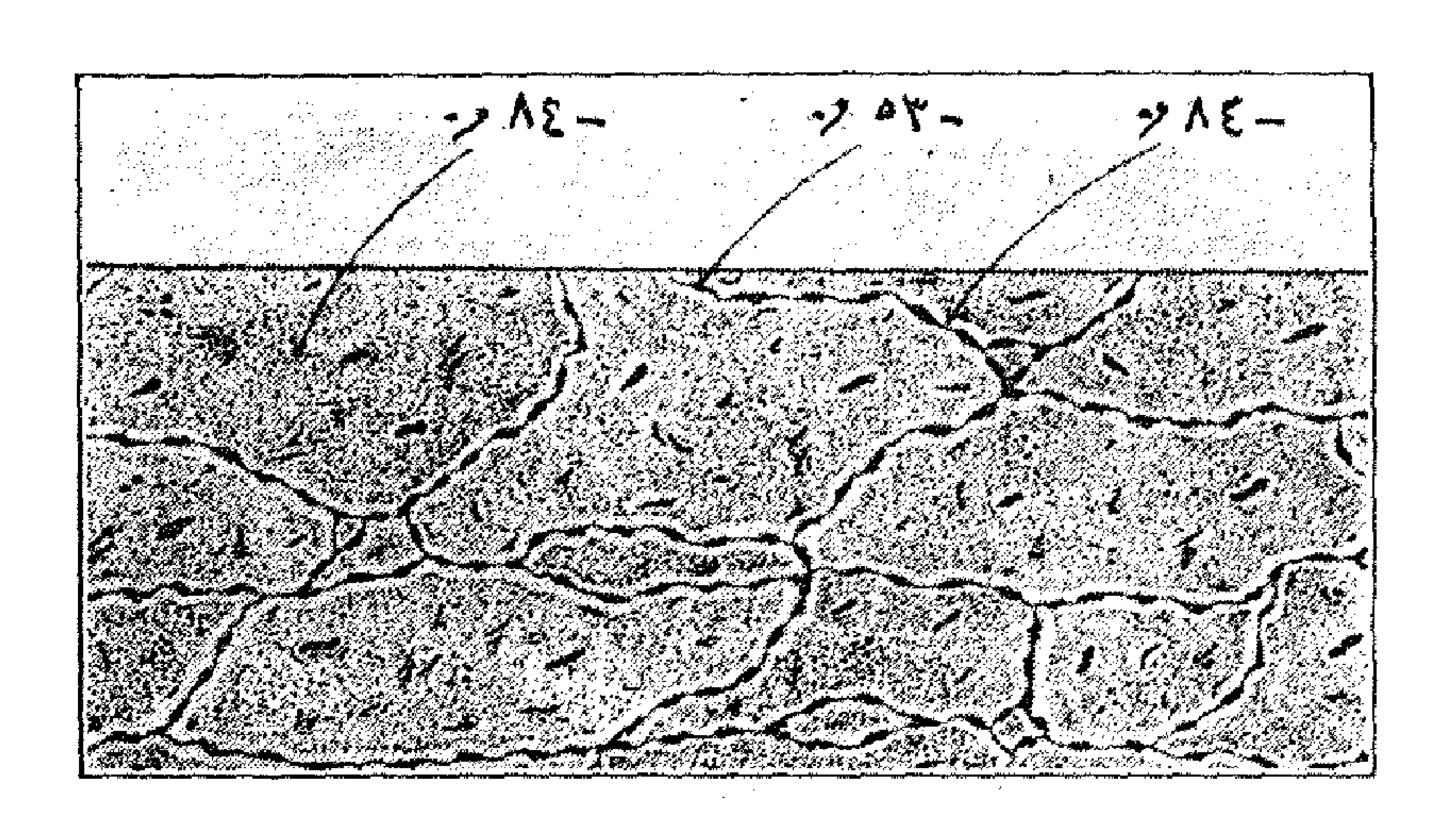
ويبين الشكل (١١٥) الحالة التي توجد عليها الحبيبات البلورية عند بلوغها أقصى فرق في الجهد القطبي بين مراكزها وحدودها . وعند هذه المرحلة ، تكون الأصناف الأكثر أنودية (أكثر إيجابية) التي ترسبت على طول الحدود الفاصلة بين الحبيبات ، جبهة متصلة من صنف أكثر أنودية عن الحبيبات ذاتها وفي هذه الحالة تبدى السبيكة ميلا ملحوظاً للتآكل بين حبيباتها البلورية ، ومن ثم انهيارها .



شكل (١١٥)

نفس السبيكة كما في الشكل (١١٣) بعد تعرضها لفترة تسخين كافية أدت إلى بلوغ الفرق بين الجهدين القطبيين داخل الحبيبات وعلى الحدود بينها قيمته العظمى

ويوضح الشكل (١١٦) التركيب البنياني للسبيكة بعد استكمال ترسب الأصناف الجديدة خلال حبيباتها البلورية وعلى حدودها الفاصلة . في هذه الحالة ، لا يوجد أي اختلاف ملموس في فرق



شكل (١١٦)

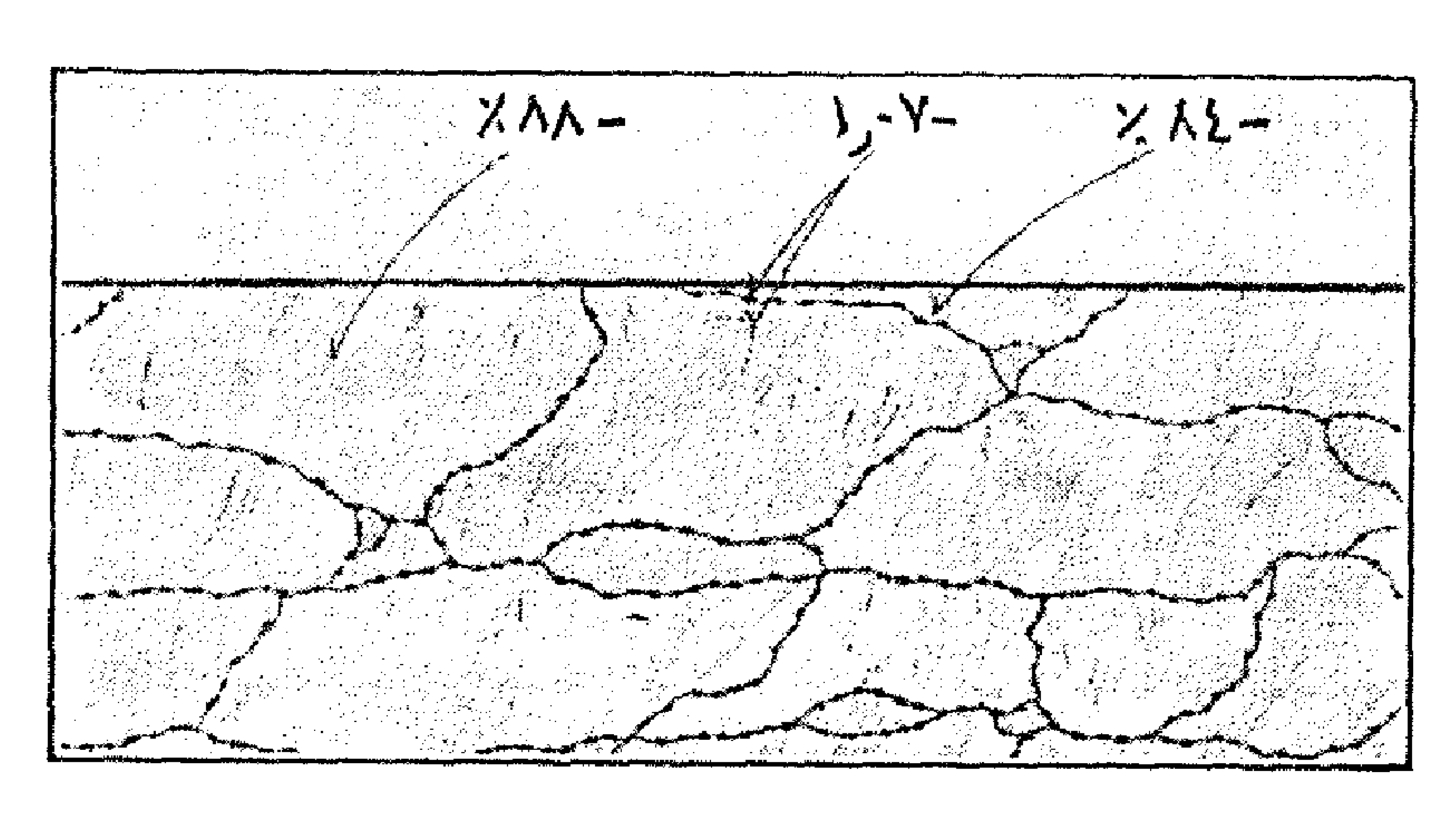
نفس السبيكة كما في الشكل (١١٣) بعد تعرضها لفترة تسخين طويلة أدت إلى إتمام عملية الترسيب ، ومن ثم أصبح الجهدالقطبي في مركز الحبيبات مساويا الجهد القطبي على الحدود بينها ، وكلاهما أكثر أنودية من الجهد القطبي للجسيمات المترسبة .

الجهد بين الحدود الفاصلة للحبيبات والحبيبات نفسها ، ومن ثم تقل حدة التآكل إلى حد بعيد ، لدرجة يمكن معها إهماله . ولكن إذا وضعت السبيكة بصورتها الراهنة فى محلول إلكتروليتى ، فإن التآكل سوف ينشأ بين المكونات وبين المعدن الأساسى .

ويعطى الجدول (٥) عدداً من قيم الجهود القطبية التى تكثر الحاجة إليها عملياً ، فى حالة سبائك الألومنيوم التجارية . ويلاحظ أن إضافة المنجنيز أو المغنسيوم والسيليكون ، بنسبة وجودهما فى المركب الكيميائى مغ٢ س ، لا يغير كثيراً من الجهد القطبى للسبيكة . فبينما يعمل النحاس فى المحلول الجامد على خفض قيمة الجهد القطبى ، يعمل كل من المغنسيوم والزنك فى المحلول الجامد على رفعه .

وفى سبائك الألومنيوم والمغنسيوم ، التى تحتوى على كية من المغنسيوم ، تتعدى حد ذائبيته العظمى ، يصبح المكون الذى يحتوى على الألومنيوم والمغنسيوم أنودياً (بمثابة قطب موجب) بالنسبة إلى المحلول الجامد المتكون من الألومنيوم والمغنسيوم .

وتحت بعض الظروف الخاصة ، قد ينشأ الترسب بصورة متصلة فى بعض المناطق ، سواء على الحدود الفاصلة بين الحبيبات أو خلال مستويات الانزلاق التى نشأت خلال تشوه لدن تعرضت له السبيكة . وإذا وجدت ظروف مواتية ، فإن نوعاً من التآكل سوف ينشأ خلال الجسيمات المترسبة ، وفى وجود إجهادات شد مؤثرة عند سطح السبيكة ، فإن بنيان المعدن سوف يتعرض للانهيار والدمار ، نتيجة لصدوع وشروخ نشأت بفعل هذا التآكل ، ويبين الشكل (١١٧) رسماً توضيحياً لما يحدث للبنيان الدقيق للسبيكة .



شكل (١١٧)

رسم توضيحى للبنيان المجهرى لسبيكة من الألومنيوم والمغنسيوم (١٠٪ مغنسيوم) تمت درفلتها على البارد . توجد المناطق المتصلة من الجسيمات الأنودية التى ترسبت على الحدود بين الحبيبات ومستويات الانزلاق .

ولقد تأكدت أهمية العلاقات الكهروكيميائية فى مجال ميكانيكية تآكل المعادن نتيجة لتأثير الإجهادات المختلفة ، إذ أمكن بتوصيل تيار كهربائى كاثودى ، منع انهيار سبيكة فى محلول ، حيث تتعرض لإجهادات تآكل فعالة .

جدول (٥)

يبين الجهود القطبية لمحاليل الجامدة للألومنيوم ، ومكوناته

المحلول الجامدأو المكون		الجهد ، بالفولت* ١,٠ عيارى مقياس كالوميل
∝ (لو – مغ)	(مغ$_5$ لو$_8$)	– ١,٠٧
β (خ – مغ)	(مغ – خ$_2$)	– ١,٠٤
لو ٤٪ خ	محلول جامد	– ١,٠٢
لو ١٪ خ	محلول جامد	– ٠,٩٦
لو ٤٪ مغ	محلول جامد	– ٠,٨٧
∝ (لو – من)	(من لو$_6$)	– ٠,٨٥
ألومنيوم		– ٠,٨٤
لو + مغ + س (١٪ مغ$_2$ س) محلول جامد		– ٠,٨٣
لو ١٪ س	محلول جامد	– ٠,٨١
لو ٤٪ نح	محلول جامد	– ٠,٦٩
∝ (لو – ح)	(ح لو$_3$)	– ٠,٥٦
حديد		– ٠,٥٥
لو – نح (نح لو$_3$)		– ٠,٥٣
سيليكون		– ٠,٢٦
نحاس		– ٠,٢٠

* قيست هذه الجهود القطبية فى محلول مائى يتألف من ٥٣ جرام من كلوريد الصوديوم + ٣ جرام من يد$_2$ أ$_2$ (فوق أكسيد الهيدروجين) لكل لتر .

عوامل أخرى تؤثر على تآكل المعدن :

فيما سبق ، تم شرح كيفية نشوء مناطق موضعية ذوات جهود قطبية أكثر أنودية عن مواضع أخرى فى بنية السبيكة ، نتيجة لترسب مكونات وأصناف جديدة على الحدود الفاصلة بين الحبيبات البلورية للسبيكة ، ومن ثم تؤدى إلى تدهور وانهيار بنية المعدن . ولكن أثبتت الخبرة العملية والمعملية ، أن ترسب أصناف جديدة لا يكون دائماً السبب الوحيد لتدهور بنية المعدن ، ولكن ثمة مكونات أخرى غير معروفة حتى الآن ، يجرى ترسبها ، وتؤثر هى الأخرى بشكل أو بآخر ، وتؤدى فى النهاية إلى تدهور بنية المعدن . كما أنه من الممكن افتراض نشوء مناطق على الحدود الفاصلة بين الحبيبات تعانى من إجهادات مفرطة ، نتيجة عدم انتظام البلورات بها ، مما يؤدى فى النهاية إلى خلق فروق فى الجهود القطبية بينها وبين كتلة الحبيبات ككل . من ناحية أخرى ، يجب أن يؤخذ فى الاعتبار التغير الحجمى الذى يطرأ على المكونات المتراكمة على الحدود الفاصلة بين الحبيبات عند ترسب أصناف جديدة ، الأمر الذى يؤدى بدوره إلى خلق إجهادات إضافية تساعد على إحداث التآكل .

تآكل سبائك الألومنيوم :

أكثر سبائك الألومنيوم عرضة للتآكل نتيجة للإجهادات المختلفة ، تلك السبائك التى تحتوى على عناصر تتسم بذائبية كبيرة فى الحالة الصلبة عند درجات الحرارة العالية ، ولكن يقل تذاوبها فى الألومنيوم عند درجات الحرارة المعتادة ، مما ينجم عنه ترسب الفائض منها بشكل أو بآخر ، فيضطرب الاتساق البلورى للسبيكة ، وتتولد إجهادات تعمل على تآكل بنية السبيكة ، من هذه العناصر ، النحاس ، والماغنسيوم ، والزنك .

وفى مثل هذه السبائك ، يتأثر التركيب البنيانى لها إلى حد بعيد ، بعمليات المعاملة الحرارية ، ومعدل التبريد أثناء التسقية ، والتعتيق سواء كان طبيعياً أو اصطناعياً . وفى بعض سبائك الألومنيوم ، خاصة سبائك الألومنيوم والنحاس ، يتوقف تأثير التعتيق الاصطناعى على إجراء التسقية السابقة . وليس للتعتيق الطبيعى أى تأثير يذكر على قابلية سبائك الألومنيوم والنحاس للتآكل نتيجة للإجهادات المتولدة ، لكن تأثيره على قابلية سبائك الألومنيوم والمغنسيوم المطروقة (القابلة للتشكيل) ليس هيناً ، لا سيما إذا احتوت هذه السبائك على أكثر من ٤,٥٪ من وزنها من المغنسيوم . ويلزم لهذه المجموعة ، فترة طويلة قد تبلغ شهوراً ، بل قد تصل إلى بضع سنين ، قبل أن تترسب بعض المكونات بالقدر الذى يؤدى إلى خلق إجهادات محسوسة وفعالة ، تزيد من تعرض المعدن للتآكل والانهيار . ولذلك فإن كثيراً من المعلومات المتوافرة عن سبائك الألومنيوم والمغنسيوم ، تكون مشوشة ، ولا يمكن التعويل عليها بصورة قاطعة

من ناحية أخرى ، قد يؤدى سلوك السبيكة خلال تعرضها لتشوه لدن ، إلى التعجيل بترسب موضعى لبعض المكونات ، كما قد يؤدى أيضاً إلى توزيع الإجهادات المتخلفة ، ومن ثم انتظامها .

ومن المستصوب تناول مختلف أنواع السبائك الألومنيومية بالمناقشة والتمحيص ، فيما يختص بتعرضها وتقبلها لظاهرة التآكل نتيجة الإجهادات المختلفة ، مع تقصى الأسباب التى تؤدى إلى ذلك .

الألومنيوم : لا يتعرض الألومنيوم النقى ، أو النقى تجارياً ، للتآكل نتيجة إجهادات داخلية . ولكن بالرغم من ذلك ، فإن الألومنيوم عالى النقاوة الذى يحتوى على ٩٩,٥٪ من الألومنيوم على الأقل ، يبدى ميلا للتآكل داخل حبيباته البلورية فى وسط من حمض الهيدروكلوريك تحت ظروف من المعاملة الحرارية ، حيث يؤدى كل ذلك إلى أنودية (التحول إلى جهد أعلى) الحدود الفاصلة بين الحبيبات البلورية للألومنيوم فى وجود هذا الحمض . وللأسف ليست هناك تعليلات وافية ، أو تفسيرات شافية لهذه الظاهرة .

سبائك الألومنيوم – المنجنيز : للمنجنيز ذائبية منخفضة فى الألومنيوم الفلزى ، فى الحالة الصلبة . ولمكونات الألومنيوم والمنجنيز نفس الجهد القطبى للألومنيوم العنصرى تقريباً ، وعليه فلا يخشى على هذه المجموعة من السبائك من تعرضها للتآكل نتيجة للإجهادات الداخلية .

سبائك الألومنيوم – السيليكون : للسيليكون ذائبية منخفضة نسبياً فى الألومنيوم الفلزى فى الحالة الصلبة . كما أن معدل ترسب الأصناف الجديدة فى هذه المجموعة من السبائك ، يكون بطيئاً للغاية ، ويمكن إهماله . ويعتبر المكون السليكونى بالنسبة للألومنيوم بمثابة مهبط ، ولكن للألومنيوم والمحلول الجامد للألومنيوم والسيليكون جهدين قطبيين متساويين تقريباً . وتستخدم سبائك الألومنيوم والسيليكون بكثرة فى أغراض صناعة المسبوكات عنها فى أغراض التشكيل ، ولكن لم تلاحظ أى نزعة لهذه السبائك للتآكل نتيجة إجهادات داخلية بها .

سبائك الألومنيوم – المغنسيوم : تبلغ ذائبية المغنسيوم فى الألومنيوم الفلزى عند درجة حرارة اليوتكتى حوالى ١٥٪ ، ولكن لا تزيد الذائبية عند درجة الحرارة المعتادة على ٢٪ . ويعتبر مكون الألومنيوم المغنسيوى أكثر أنودية مقارناً بكل من الألومنيوم الفلزى والمحلول الجامد للألومنيوم والمغنسيوم . وللسبائك الثنائية التى تحتوى على أكثر من ٤,٥٪ من المغنسيوم نزعة واضحة للتآكل ، نتيجة تخلف إجهادات داخلية بها ، خاصة بعد تشغيل هذه السبائك على البارد . ويمكن الحصول على نتائج طيبة بإضافة مثبطات للتآكل كالمنجنيز والكروم لتزيل الإجهادات الداخلية التى تعانى منها البنية البلورية للسبيكة .

سبائك الألومنيوم – المغنسيوم – السيليكون : عند وجود عنصرى المغنسيوم والسيليكون فى سبائك الألومنيوم المفيدة للأغراض التجارية بنسبة وجودهما فى المركب مغ٢ س (سليسيد المغنسيوم) لا يتأثر الجهد القطبى للسبيكة عند تعرضها للعديد من عمليات المعاملة الحرارية . ولذلك فإن العديد من سبائك الألومنيوم التشكيلية ، التى تحتوى على عنصرى المغنسيوم والسيليكون بنسبة وجودهما فى المركب مغ٢ س أهمية خاصة لمقاومتها الجيدة للتآكل .

سبائك الألومنيوم – السيليكون – المغنسيوم : هناك مجموعة هامة من سبائك الألومنيوم الخاصة بالمسبوكات تحتوى على ٥ – ٧٪ من السيليكون ، وحوالى ٠,٥٪ من المغنسيوم ، وتتميز هذه المجموعة من السبائك بمقاومة عالية للتآكل ، كما لم يلاحظ أى ميل لها لإحداث إجهادات داخلية بها . وبإضافة حوالى ١,٥٪ من النحاس إلى هذه السبائك ، تزداد مقاومة الشد لها ، ولكن ذلك يكون على حساب مقاومتها للتآكل ، فتنخفض قليلا .

سبائك الألومنيوم – النحاس – تناولنا فيما سبق ، دراسة سبائك الألومنيوم والنحاس ، وهذا القسم من السبائك لا تتأثر مقاومته للتآكل إذا جرت تسقيته سريعاً ، أو إذا تعرض لإزمان طبيعى . لكن مقاومة هذه المجموعة من السبائك للتآكل ، تقل كثيراً إذا ما أعيد تسخينها ، أو عتقت اصطناعياً ، بهدف الحصول على أقصى متانة ممكنة .

سبائك الألومنيوم – النحاس – المغنسيوم : عموماً ، يمكن القول بأن مسلك هذه المجموعة من السبائك يشبه إلى حد بعيد ، مسلك سبائك الألومنيوم – النحاس ، فيما خلا تأثير عنصر المغنسيوم على الخواص المميزة لها عند التعتيق إزمانياً . ومن ثم فإن مقاومتها للتآكل لا تتأثر بتبريدها سريعاً ، ولكن تقل هذه المقاومة عند إعادة تسخينها .

سبائك الألومنيوم – النحاس – المغنسيوم – السيليكون : فى هذه المجموعة من السبائك ، يعمل عنصر السيليكون الموجود بكمية تفيض عن وجوده لتكوين المركب (مغ٢ س)، على سرعة استجابتها للتعتيق الاصطناعى . وبتسقية هذه السبائك سريعاً ، لا تتأثر مقاومتها للتآكل . ولكن عند تسقيتها ببطء ، ثم تعريضها للتعتيق الطبيعى ، أو تسقيتها سريعاً ، ثم تعريضها للتعتيق الاصطناعى ، فإن مقاومتها للتآكل تقل كثيراً .

سبائك الألومنيوم – الزنك : لهذه المجموعة من السبائك قابلية ملحوظة للتآكل ، وقد عرفت نقطة الضعف هذه فى وقت مبكر ، ويعزى ذلك إلى الذائبية الكبيرة لعنصر الزنك فى الألومنيوم لتكون مكونات منهما ، هذه المكونات تكون بمثابة أنود بالنسبة لفلز الألومنيوم النقى ، وعليه يحدث التآكل . ولهذا السبب فليست لسبائك الألومنيوم الغنية بالزنك أهمية تجارية تذكر .

سبائك الألومنيوم – الزنك – المغنسيوم : تتسم هذه السبائك مع غيرها من الإضافات الأخرى بمتانة كبيرة ، تجعلها صالحة للاضطلاع بالعديد من المهام فى الحياة العملية . ومع ذلك فقد جرى تطوير هذه السبائك فى أضيق الحدود لزيادة مقاومتها للتآكل والتصدع . وفى السنوات الأخيرة المنصرمة ، جرى تطوير هذه السبائك ميتالورجياً بالتحكم والاختيار الصحيحين لمكونات الزنك والمغنسيوم ، إلى جانب بعض الإضافات من النحاس وغيره من العوامل المثبطة للتآكل كالكروم ، مما أدى إلى تحسين مقاومتها للتآكل لدرجة كبيرة .

الباب الثـــامن

ميتالورجيا مساحيق الالومنيوم

ميتالورجيا المساحيق ، هو فن إنتاج مساحيق الفلزات ، ثم الاستفادة بها فى صناعة أشياء نافعة من أجهزة وأدوات معدنية يمكن استخدامها .

وبتطبيق هذه الطريقة المستحدثة ، يمكن الحصول على منتجات جاهزة ومشكلة من مسحوق أحد الفلزات النقية ، أو من مخلوط لمساحيق عدد من الفلزات ، بواسطة الكبس ثم التلبيد ، دون المرور بمرحلة الصهر ، ثم تشكيل الفلز المنصهر .

ولميتالورجيا المساحيق ميزة خاصة ، إذ يمكن بواسطتها إنتاج مواد تتألف من عدد من الفلزات أو سبائكها ، التى لا تتسابك إطلاقاً مع بعضها بعضاً ، وهى فى حالة الانصهار ، فمثلا يمكن الحصول على قاطعات التلامس فى الأغراض الكهربائية من التنجستن الصلب الذى يقاوم التآكل ، ومن الفضة اللينة ذات الموصلية الكهربائية العالية . وتشبه هذه العملية فى جوهرها تكنولوجيا صناعة السيراميك ، لذلك يطلق أحياناً على منتجات ميتالورجيا المساحيق اسم « السيراميك الفلزى » .

ومن الممكن ، بكبس وتلبيد مخاليط المساحيق المعدنية مع مساحيق المواد غير المعدنية كالأسبستوس ، والميكا ، وأكاسيد المعادن ، الحصول على مواد احتكاكية من السيراميك الفلزى ذوات عوامل احتكاك كبيرة ، وتستعمل فى صناعة القابضات القرصية ، وأحذية الفرامل .

وبواسطة ميتالورجيا المساحيق ، أمكن حل مشاكل الإنتاج الصناعى للقطع المعدة من المعادن المقاومة للانصهار ، التى تزيد درجة حرارتها على ٢٠٠٠°م ، وفى الوقت الراهن تصنع معدات القص العالية الإنتاجية على أساس كربيدات مقاومة للانصهار ، لها صلادة عالية ، وباستخدام مركبات كيميائية تقاوم الانصهار ، وتصمد أمام درجات الحرارة العالية ، تمت صناعة المواد للإنصهار والحرارة التى تستخدم بكثرة فى تجهيز التوربينات وفى الطاقة الذرية .

وباستخدام الأكاسيد الدقيقة الطحن كأحد مركبات شحنة المساحيق ، أمكن الحصول على مواد جديدة متينة ومقاومة للحرارة أساسها الألومنيوم والحديد والنيكل وغيرها من الفلزات الأخرى .

ولقد كان لاستخدام ميتالورجيا المساحيق فى صناعة مختلف المنتجات حسنات كثيرة ، منها الاقتصاد فى المعدن المستخدم ، وخفض تكاليف المنتجات الجاهزة إلى حد بعيد .

وللحصول على منتجات من الألومنيوم النقى أو من سبائكه ، بتطبيق ميتالورجيا المساحيق ، يلزم الآتى :

* الحصول على مسحوق الألومنيوم أو مساحيق سبائكه .
* كبس المساحيق للحصول على منتجات نصف جاهزة تبعاً للشكل والأبعاد المطلوبة .
* تلبيد القطع المكبوسة للحصول على متانة أكبر ، وخواص فيزيقية وكيميائية معينة .

ومن ثم يمكن الحصول على منتجات مشكلة من مسحوق الألومنيوم أو سبائكه ، لاستخدامها فى أغراض عديدة ، حربية ومدنية .

طرق الحصول على مسحوق الألومنيوم وسبائكه :

عموماً ، توجد طرق متعددة للحصول على مسحوق للألومنيوم أو لسبائكه ، وتنقسم هذه الطرق إلى طرق ميكانيكية وطرق كيميائية . ولكن أكثر الطرق شيوعاً فى حالة الألومنيوم ، هى الطرق الميكانيكية ، إذ أن تطبيق الطرق الكيميائية يستلزم استعدادات وتجهيزات معينة ، بالإضافة إلى تكاليفها الباهظة ، ويرجع ذلك إلى فعالية الألومنيوم ونشاطه كيميائياً ، خاصة نزعته القوية للتأكسد والاتحاد بقوة بكثير من العناصر الأخرى خاصة غاز الأكسيجين .

ومن أكثر الطرق الميكانيكية استخداماً للحصول على مسحوق الألومنيوم ، ما يلى :

١ – سحق قطع الألومنيوم فى طواحين مناسبة ، كالطاحونة الدوامية .
٢ – تحبيب الألومنيوم المنصهر .
٣ – طريقة التذرية .
٤ – طريقة الأقراص .

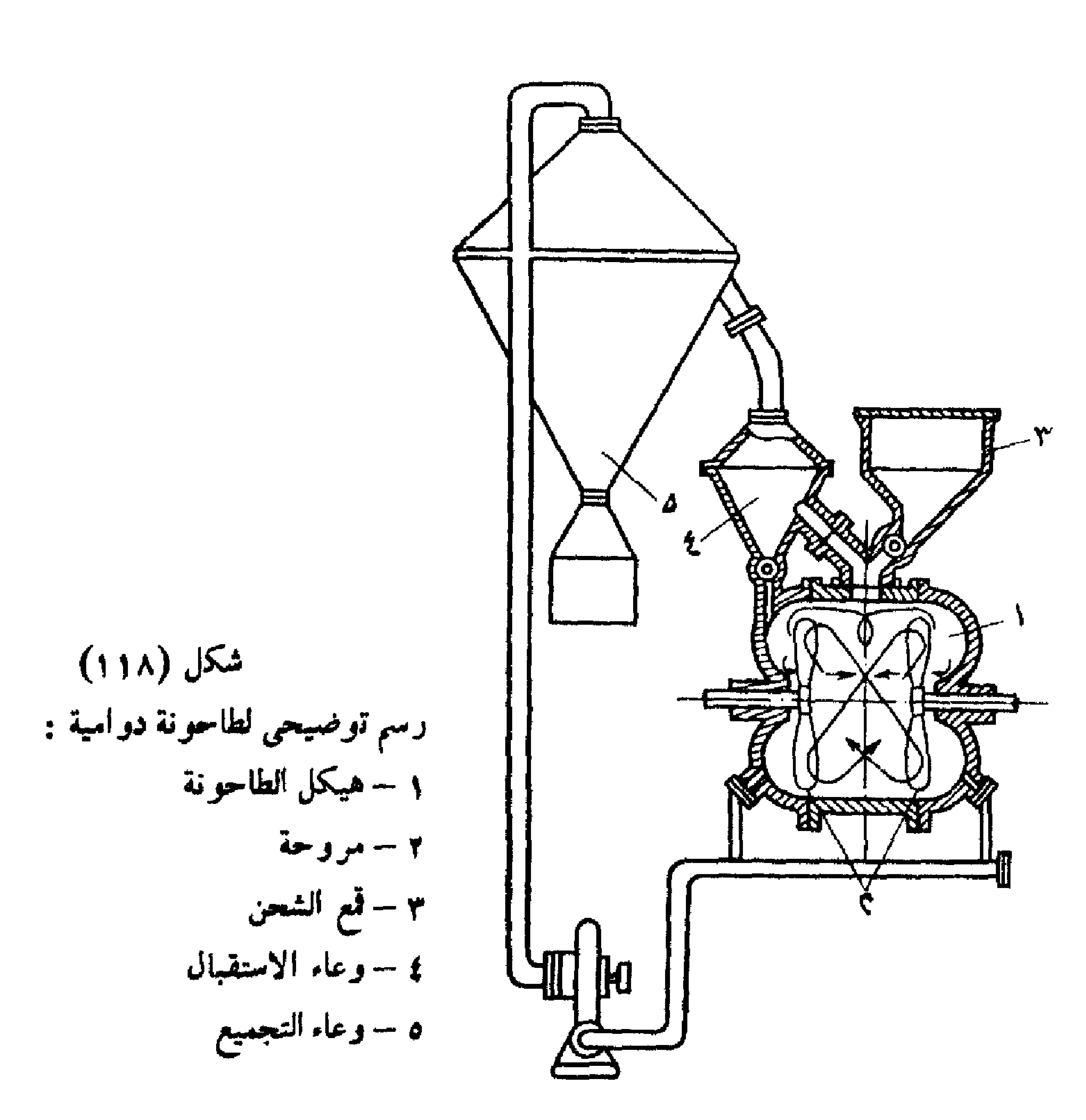
١ – سحق الألومنيوم فى طاحونة دوامية :

تتركب الطاحونة الدوامية (كما فى الشكل رقم ١١٨) من هيكل معدنى يبطن بصلب يقاوم التآكل ، وتدور داخلها مروحتان فى اتجاهين متضادين بسرعة تصل إلى ٣٠٠٠ دورة فى الدقيقة ، فتتكون داخل الطاحونة تيارات هوائية على هيئة دوامات عنيفة ، ويشحن الألومنيوم فى شكل أسلاك مقصوصة أو قطع صغيرة ، فى قمع الشحن ، حيث تنجذب قطع الألومنيوم بواسطة الدوامات الهوائية ، ويصطدم بعضها ببعض ، ونتيجة للتصادم المتواصل ، ينسحق الألومنيوم (أو سبائكه) إلى رقائق صغيرة تتراوح أبعادها بين ٥٠ ، ٢٠٠ ميكرون . ومن ناحية أخرى ، تعمل تيارات الهواء المندفعة على حمل حبيبات المعدن إلى وعاء الاستقبال ، حيث تترسب الحبيبات الكبيرة فى القاع وتعاد ثانية لسحقها مرة أخرى إلى الأبعاد المطلوبة ، أما الحبيبات الدقيقة ، فتتجه إلى خزان خاص لتجميعها .

ولحل مشاكل ارتفاع درجة الحرارة داخل الطاحونة ، وما يصاحب ذلك من مشاكل خاصة ، تعرض حبيبات الألومنيوم للتأكسد نتيجة لعمليات السحق السريعة ، يمرر تيار من الماء

بغرض التبريد حول جسم الطاحونة . وقد يستدعى الأمر فى بعض الأحيان ، إمرار تيار من غاز خامل فى خزان التجميع .

وتستخدم الطاحونة الدوامية بكفاءة عالية لسحق سبائك الألومنيوم القصيفة . ومن أهم مميزات استخدام الطاحونة الدوامية فى الصناعة لحصول على مسحوق الألومنيوم وسبائكه ، ما يتمتع به المسحوق الناتج من نقاوة عالية ، إذ أن الأجسام الطاحنة هى نفس القطع التى يراد سحقها ، كما تتميز المساحيق المنتجة فى هذه الطاحونة ، بقابليتها الجيدة للكبس والتلبيد .



شكل (١١٨)

رسم توضيحى لطاحونة دوامية :

١ – هيكل الطاحونة

٢ – مروحة

٣ – قمع الشحن

٤ – وعاء الاستقبال

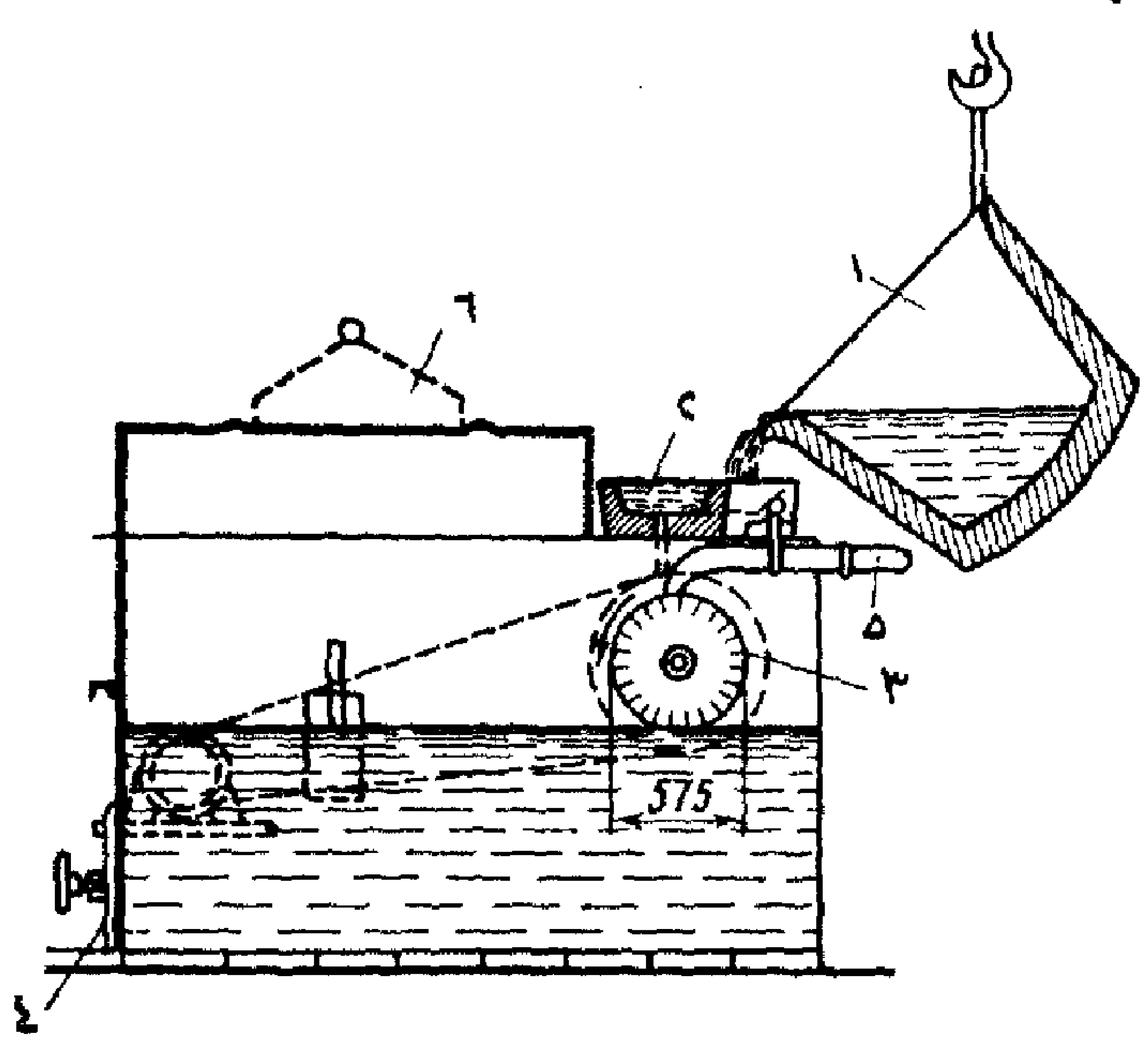
٥ – وعاء التجميع

٢ – تحبيب الألومنيوم المنصهر :

تتلخص عملية الحصول على مسحوق الألومنيوم بواسطة تحبيب الفلز المنصهر ، فى صب المصهور عند درجة حرارة أعلى قليلا من نقطة انصهاره ، على هيئة تيار رفيع إلى الماء .

ويبين الشكل رقم (١١٩) رسماً توضيحياً للطريقة ، حيث يصب مصهور الألومنيوم من البودقة إلى مجرى خاص ، ليندفع على سير متصل يتحرك بسرعة بالاستعانة بموتور كهربائى ،

وتتسبب حركة السير السريعة فى تقطيع تيار الألومنيوم المنصهر الرفيع ، ويسقط على هيئة قطرات دقيقة الحجم فى حوض به ماء ، فتتجمد القطرات سريعاً مكونة مسحوقا . بعد ذلك يجفف هذا المسحوق ثم ينخل .



شكل (١١٩) رسم توضيحى لوحدة تحبيب الألومنيوم المنصهر

١ – بودقة بها مصهور الألومنيوم
٢ – قناة استقبال الألومنيوم المنصهر
٣ – سير متصل
٤ – فتحة التفريغ
٥ – فتحة التزويد بالماء
٦ – غطاء

٣ – طريقة التذرية :

لإنتاج مسحوق الألومنيوم بطريقة التذرية ، يصهر الألومنيوم ، وترفع درجة حرارته لدرجة أعلى من نقطة انصهاره ، ثم يصب المصهور فى وعاء من الصلب مبطن بمادة عازلة للحرارة ، به فتحة جانبية قرب القاع ، تركب عليها فوهة التذرية . ويفتح صمام الهواء المضغوط حول الفوهة ، مع إمرار الألومنيوم المنصهر خلال الفتحة الجانبية ، فيندفع الألومنيوم رذاذاً ، ويتجمد إلى مسحوق دقيق .

٤ – طريقة الأقراص :

فى هذه الطريقة ، يصهر الألومنيوم ثم يصب فوق قرص يدور بسرعة عالية ، ويوجد أسفله حوض به ماء بارد ، وبملامسة قطرات الألومنيوم لسطح القرص الدوار ، يتناثر المصهور بفعل القوة الطاردة المركزية على شكل شرائح وشظايا رقيقة ، تجمع وتشحن فى طواحين مناسبة لسحقها .

تكنولوجيا كبس المساحيق :

يتم إنتاج المواد وقطع المساحيق المعدنية على مراحل عدة مثل الكبس والتلبيد والمعالجات الإضافية وغير ذلك . وأهم هذه العمليات هى عمليات الكبس والتلبيد .

ويقصد بعملية كبس المساحيق ، العملية التى نحصل بواسطتها من المسحوق المعدنى على جسم متين نسبياً (قطع نصف مشكلة وقوالب وغيرها) له أبعاد مطابقة لأشكال وأبعاد المنتجات الجاهزة .

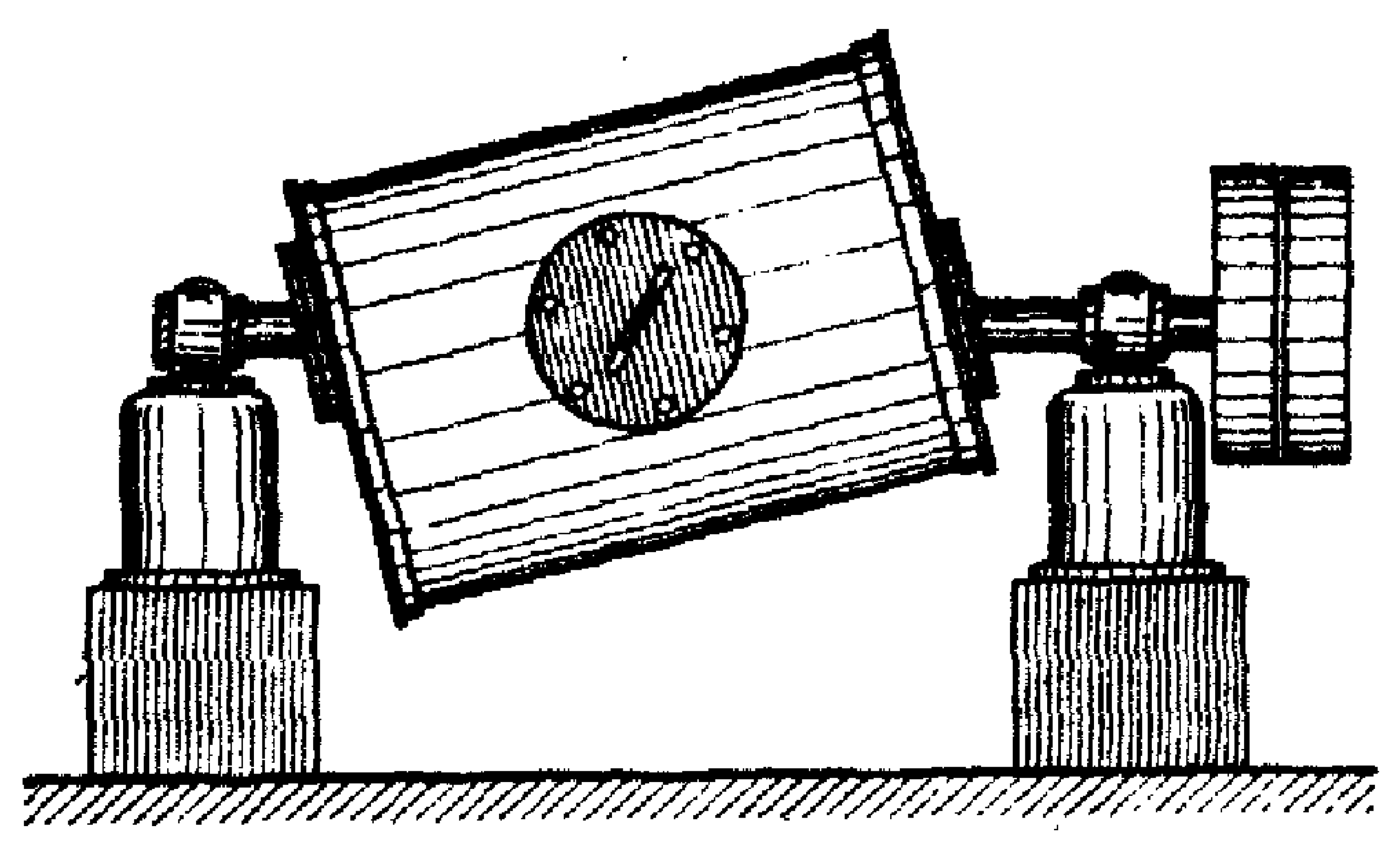
وحتى تتم عملية الكبس على الوجه الأمثل ، يجب أن تعد الشحنة من المساحيق إعداداً خاصاً ، ثم تقدر بعد ذلك الكمية المطلوبة منها ، وتشحن فى قالب الكبس ، وتجرى بعد ذلك عملية الكبس .

وتعتبر عملية إعداد الشحنة ، وخلط المساحيق ، من أهم العمليات فى إنتاج المنتجات ذات التركيب المعقد ، وغالباً ما يؤثر إعداد الشحنة على الخواص النهائية للمنتجات الجاهزة .

وتتعرض المساحيق لعملية تخمير لتلدينها ، حتى يمكن التخلص من التصلد الناتج عن التشغيل على البارد ، ولتقليل التأكسد ، وكذلك لتحسين تجانس الخواص الفيزيقية والكيميائية للمساحيق السبيكية . ويؤدى التلدين عادة عند درجات حرارة عالية إلى تكبير حجم الجسيمات والحبيبات نتيجة لتلبيدها جزئياً . لذلك فإنه من المستصوب إجراء عمليات تلدين وتفتيت متكررة عند درجات حرارة منخفضة للتخلص من التصليد الناتج عن التفتيت .

ولخلط المساحيق ، تستخدم طواحين الكور ، أو الخلاطات المخروطية ، أو الخلاطات المتأرجحة .

وأكثر معدات الخلط المستخدمة فى الصناعة ، هى الخلاطات المتأرجحة والخلاطات المخروطية . ويوضح الشكل رقم (١٢٠) رسماً تخطيطياً لخلاط متأرجح ، وهو يتكون من هيكل أسطوانى له محور دوران غير متمركز كما فى الشكل ، وعند دوران الخلاط بعد شحنه حول محوره غير المتمركز ، ينشأ احتكاك شديد بين جسيمات المساحيق نتيجة لتقاذفها وتدافعها بفعل القوة الطاردة المركزية ، ونتيجة لسقوطها على بعضها لدورانها حول محور لا متمركز ، وبذلك تتم عملية الخلط.



شكل (١٢٠) خلاط متأرجح

وتتم تعبئة براميل الخلاطات على مختلف أنواعها بشحنات من المساحيق ، لا تزيد على ٣٠ – ٤٠٪ من سعة البرميل . ويدور الجسم الأسطوانى بسرعة تتراوح بين ٤٠ ، ٦٠ دورة فى الدقيقة . ويتوقف زمن الخلط على طبيعة مركبات المخلوط وعلى نوع عملية الخلط .

ومن الممكن أن يكون الخلط جافاً أو مبتلا ، ولكن ثبت عملياً بالتجربة أنه عند إعداد شحنة من مساحيق متفاوتة فى وزنها النوعى – بشكل ملحوظ – ، فإن المساحيق الجافة لا يتجانس خلطها حتى لو استغرقت عملية الخلط مدة طويلة ، لذلك تكون المنتجات المصنوعة من هذه الشحنات غير متجانسة فى التركيب الكيميائى ، مما يقلل من خواصها الميكانيكية والكيميائية الفيزيقية .

ويستخدم الكحول الأبيض أو البنزين أو المياه المقطرة، أو الجليسرين أو ما شابه ذلك ، كوسط سائل يوضع مع المساحيق فى الخلاطات . ويحقق الخلط المبتل ، الحصول على مخاليط أدق وأكثر تجانساً فى توزيعها .

وفى بعض الحالات ، يجرى تحبيب المساحيق ، بتجميع جسيماتها المتناهية الصغر فى تجميعات بأساليب مناسبة ، حتى تزداد سيوبتها عند شحن قوالب الكبس ، وتتحسن قابلية القطع للتشكيل عند كبسها .

ولتحقيق هذا الغرض ، تضاف مواد لاصقة عند تحبيب المساحيق المعدة للكبس ، وتعمل هذه المواد كزلقات لجسيمات الشحنة ، فتسهل انزلاقها بالنسبة لبعضها بعضاً عند الكبس . فضلا عن ذلك فإن لهذه المواد اللاصقة دوراً آخر لا يقل أهمية ، فهى تعمل على زيادة التصاق الحبيبات بعضها إلى بعض خاصة عند الكبس ، مما يزيد كثيراً من متانة المكبوسات ، ويحقق حفظ شكل وجودة القطع اللازمة للعمليات التالية ، وبالطبع يجب أن تخضع هذه المواد اللاصقة لمواصفات خاصة ، حتى يمكن الوفاء بمهامها ، فيجب أن تتمتع بسيولة كافية ، وتكون لها خاصية الانتشار السريع على أسطح جسيمات المسحوق عند الخلط . وفى نفس الوقت ، تعمل على حفظ شكل القطع نصف المشكلة عند العمليات التالية ، كما يجب ألا تتفاعل المادة المضافة مع مركبات الشحنة وألا تكون قابلة للانفجار .

طرق كبس مساحيق الألومنيوم وسبائكه :

يتم كبس المساحيق بطرق متعددة أهمها :

١ – الكبس فى اتجاه واحد .

٢ – الكبس من الطرفين .

٣ – كبس الأشكال المعقدة .

٤ – الكبس الهيدروستاتيكى .

٥ – درفلة أو طرق المساحيق فى أغلفة على الساخن

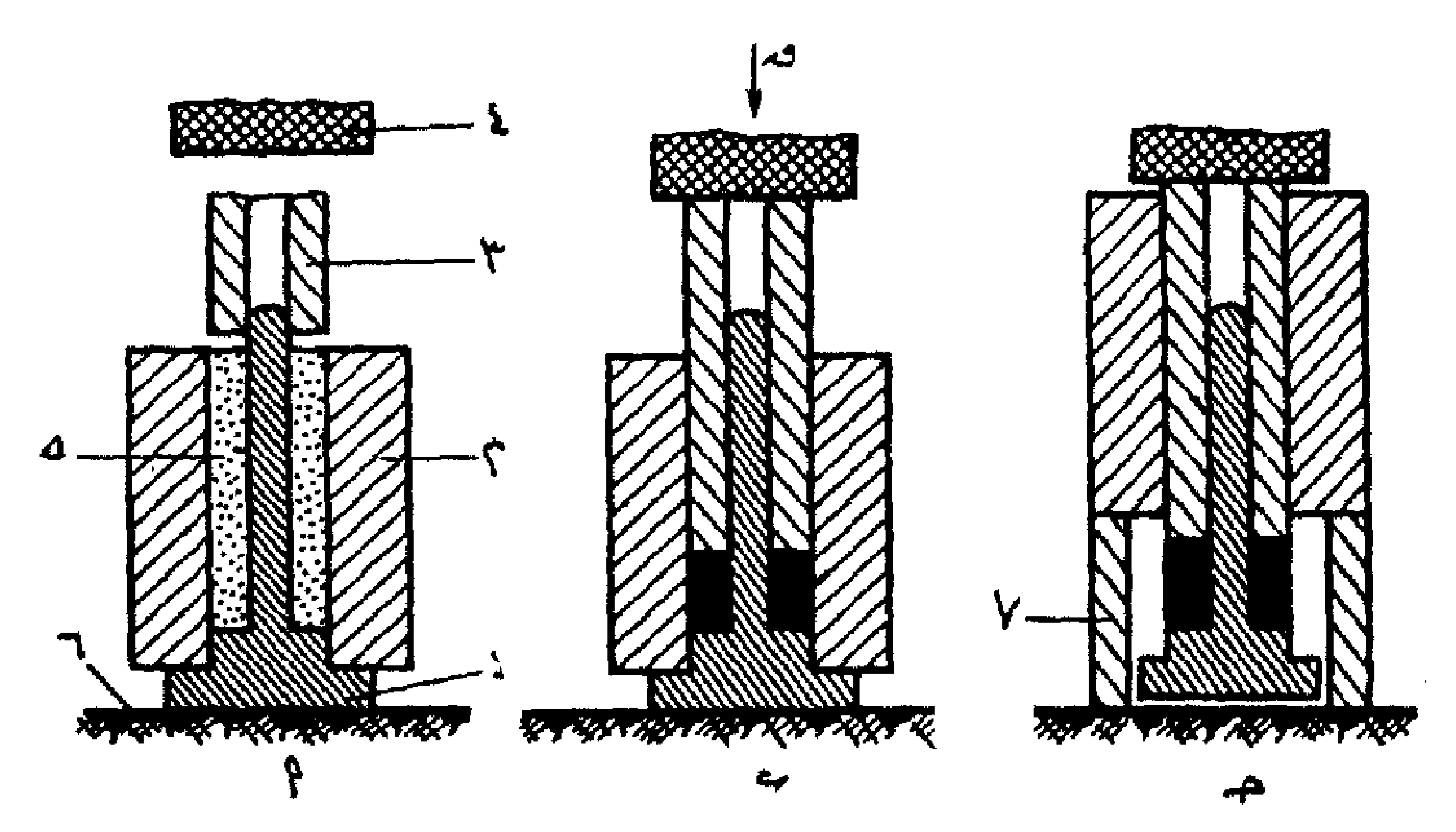
٦ – درفلة المساحيق إلى شرائط .

٧ – كبس المساحيق بالبثق إلى أسلاك أو مواسير .

١ – الكبس فى اتجاه واحد :

يستخدم الكبس فى اتجاه واحد ، لإعداد المنتجات بسيطة الشكل ، عندما لا يزيد طول (أو ارتفاع) المنتج على ضعف قطره (أو سمكه أو عرضه) ، مثل كبس الجلب السميكة ، وقطع التلامس الكهربائى . ويبين الشكل (١٢١) رسماً توضيحياً لطريقة الكبس فى اتجاه واحد . وفى هذه الطريقة يتم شحن المسحوق (أو خليط المساحيق) فى قالب الكبس ، الشكل (أ) ، ثم تبدأ عملية الكبس بالضغط على الكباس ، وتحويله إلى منتج جاهز ، أو إلى قطعة نصف مشكلة كما فى الشكل (ب) ، ثم يزاح الثقل بعد ذلك ، ويوضع قالب الكبس على حلقة خاصة ، ثم يضغط ثانية على الكباس الذى يخرج القطعة المكبوسة من قالب الكبس ، كما فى الشكل (ج).

ويعيب طريقة الكبس فى اتجاه واحد ، عدم تجانس كثافة المكبوسات طوليا ، لذلك لا تصلح هذه الطريقة لكبس القطع الطويلة .



شكل (١٢١) رسم توضيحى يبين كبس مسحوق الألومنيوم فى اتجاه واحد

(ا) شحن المسحوق ووضع الكباس (ب) كبس المسحوق إلى قطع

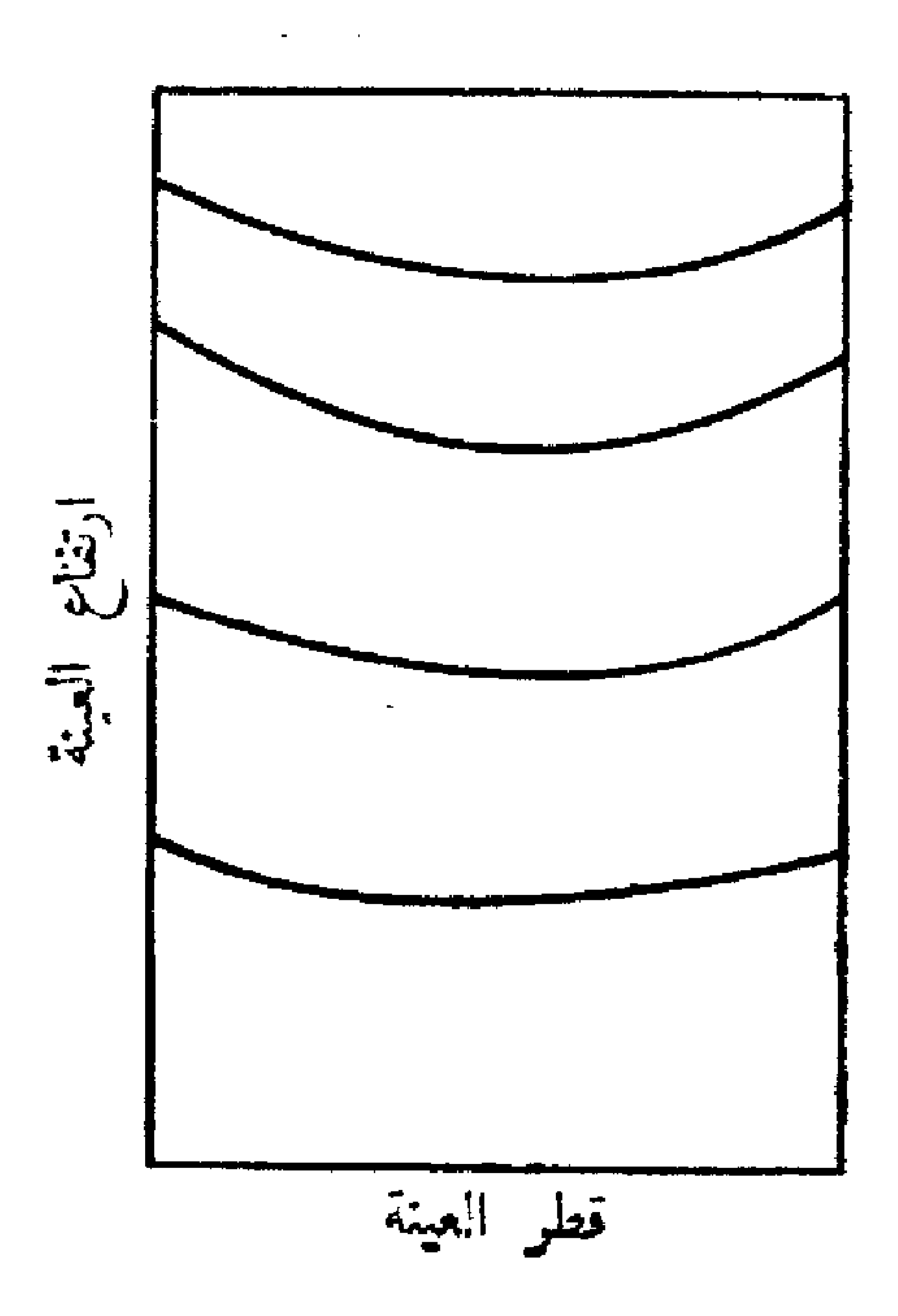
(حـ) تخليص القطع المنتجة من المكبس

١ – قاعدة ٢ – غلاف المكبس ٣ – كباس ٤ – دافعة المكبس

٥ – مسحوق الألومنيوم ٦ – قاعدة المكبس ٧ – حلق

ويبين الشكل رقم (١٢٢) مقطعاً فى أسطوانة صنعت من المساحيق المكبوسة ، وجرى تقسيمها عند شحنها فى المكبس إلى جرعات متساوية بواسطة رقائق نحاسية . ويتضح من الشكل

أن الطبقات لم تزد كثافة فحسب ، بل إنها قد تقعرت أيضاً ، كما أن كثافة الطبقات على طول العينة تكون غير متماثلة ، فتقل من أعلا إلى أسفل ، كما تزداد من مركز التقعر إلى المحيط . ويحدث العكس بالنسبة للطبقات الدنيا ، حيث تزداد الكثافة من المحيط إلى المركز . ويعزى ذلك إلى احتكاك جسيمات المساحيق مع أسطح القالب فى أثناء عملية الكبس ..



شكل (١٢٢)
رسم توضيحى يبين توزيع الكثافة فى مقطع القطعة المكبوسة (الكبس فى اتجاه واحد)

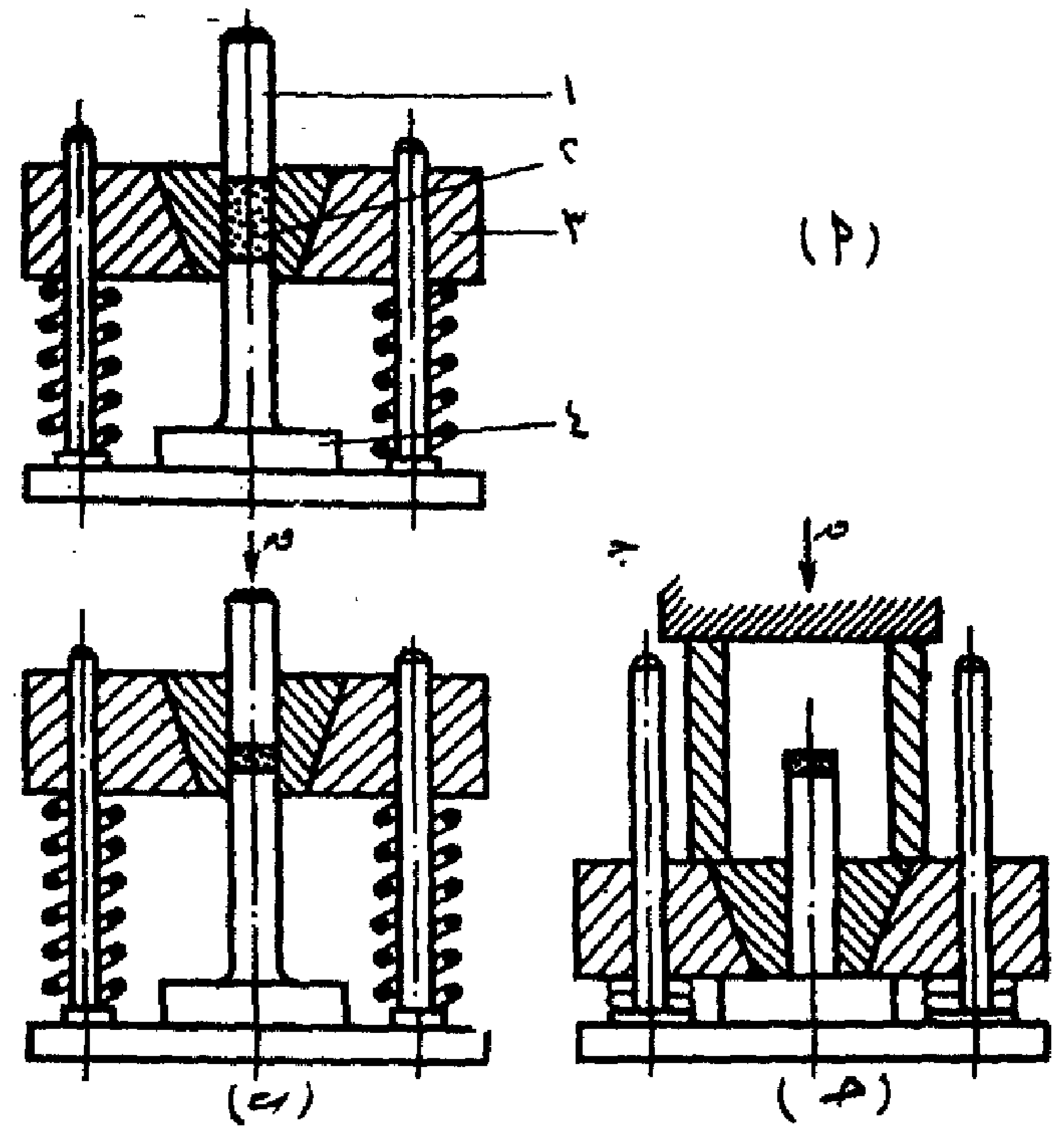
٢ – الكبس من الطرفين :

تستخدم طريقة الكبس من الطرفين للحصول على منتجات يكون طولها ضعف عرضها تقريباً ، أو عندما يكون للقطعة شكل يتعذر معه الحصول على كثافة متجانسة بطول القطعة عند استخدام طريقة الكبس فى اتجاه واحد .

ويبين الشكل (١٢٣) رسما تخطيطيا لطريقة الكبس من الطرفين (الكبس فى اتجاهين) ، وفى هذه الطريقة ، تشحن المساحيق فى قالب الكبس ، حيث تكون قاعدته هى الكباس الأسفل ، ثم يثبت الكباس العلوى (الشكل ١٢٣ أ) ويسلط الضغط على الكباسين العلوى والأسفل ، وبذلك يتم كبس المسحوق خلال طرفى قالب الكبس (الشكل ١٢٣ ب) . وبعد إتمام عملية الكبس ، يخرج المكبوس (الشكل ١٢٣ جـ) وبهذه الطريقة نحصل على مكبوسات متجانسة الكثافة نسبيا .

٣ – كبس الأشكال المعقدة :

لكبس قطع ذوات أشكال معقدة ، أبعادها غير متساوية فى اتجاه محور الكبس ، تعد قوالب الكبس يراعى فيها إمكانية الكبس المتجانس للمساحيق فى المقاطع المختلفة ، وذلك باستخدام عدة كباسات تتحرك ذاتيا .



شكل (١٢٣) رسم توضيحي لطريقة الكبس من الطرفين

(أ) سكب مسحوق الألومنيوم ووضع الكباس (ب) كبس المسحوق إلى منتجات
(ح) تخليص المنتجات

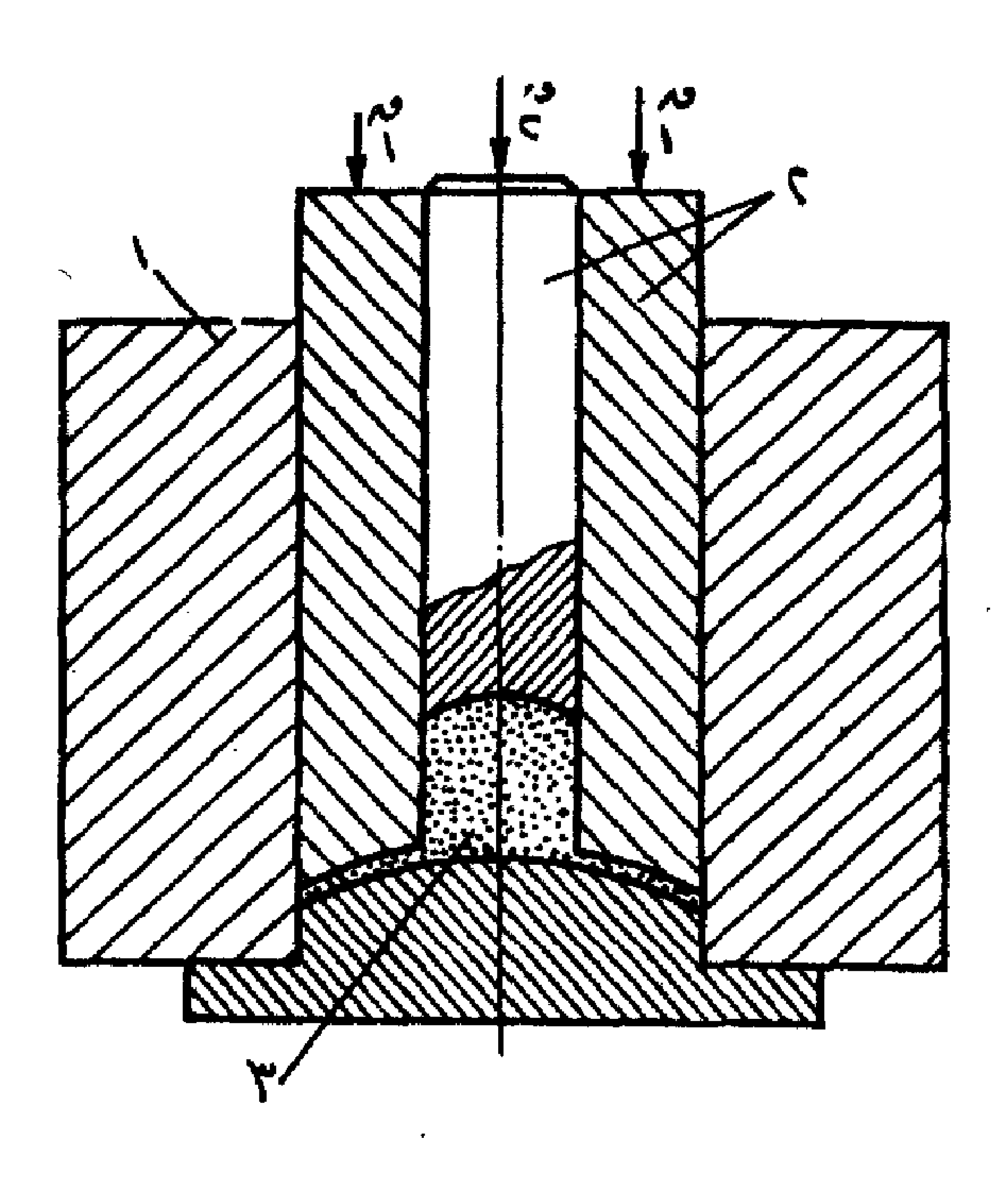
١ — كباس ٢ — مسحوق الألومنيوم
٣ — غلاف المكبس ٤ — الكباس الأسفل

ويوضح الشكل (١٢٤) مبادئ هذه الطريقة التي تحقق الضغط بقيم مختلفة على سائر أجزاء المسحوق المختلفة .

وعموما يمكن القول بأن تطبيق هذه الطريقة محدود نسبيا ، ويرجع ذلك إلى صعوبة تصميم وارتفاع ثمن قالب الكبس ، وضرورة استخدام مكابس ذات قدرة عالية ، وأيضا بسبب قلة انسياب المساحيق .

٤ — الكبس الهيدروستاتيكي :

تستخدم طريقة الكبس الهيدروستاتيكي لحصول على قطع نصف مشغلة غير دقيقة الأبعاد . وقد تعرف هذه الطريقة أيضا باسم طريقة الكبس من جميع الاتجاهات (من جميع الجوانب). وتتلخص هذه الطريقة في تسليط ضغط على غلاف مملوء بالمسحوق من جميع جوانبه ، بواسطة سائل ، ونتيجة لذلك يمكن الحصول على منتجات متجانسة تتميز بانتظام الكثافة في كل جسم المكبوس .



شكل (١٢٤) كبس قطع معقدة الشكل من مسحوق الألومنيوم باستخدام عدة كباسات
١ – غلاف المكبس ٢ – الكباسات
٣ – مسحوق الألومنيوم

ويمتاز الكبس الهيدروستاتيكى بإكساب المنتجات كثافة عالية ومتجانسة ، وبعدم ظهور الشروخ الطبيعية ، أو الشقوق والعيوب الأخرى التى تنتج عن الطرق العادية للكبس ، كما يتميز ببساطة الجهاز المستخدم ، وعدم الحاجة إلى استخدام قوالب كبس غالية ، كما أنه يمكن بواسطة الكبس الهيدروستاتيكى ، كبس قطع ثقيلة الوزن ، يستحيل كبسها بطرق الكبس العادية .

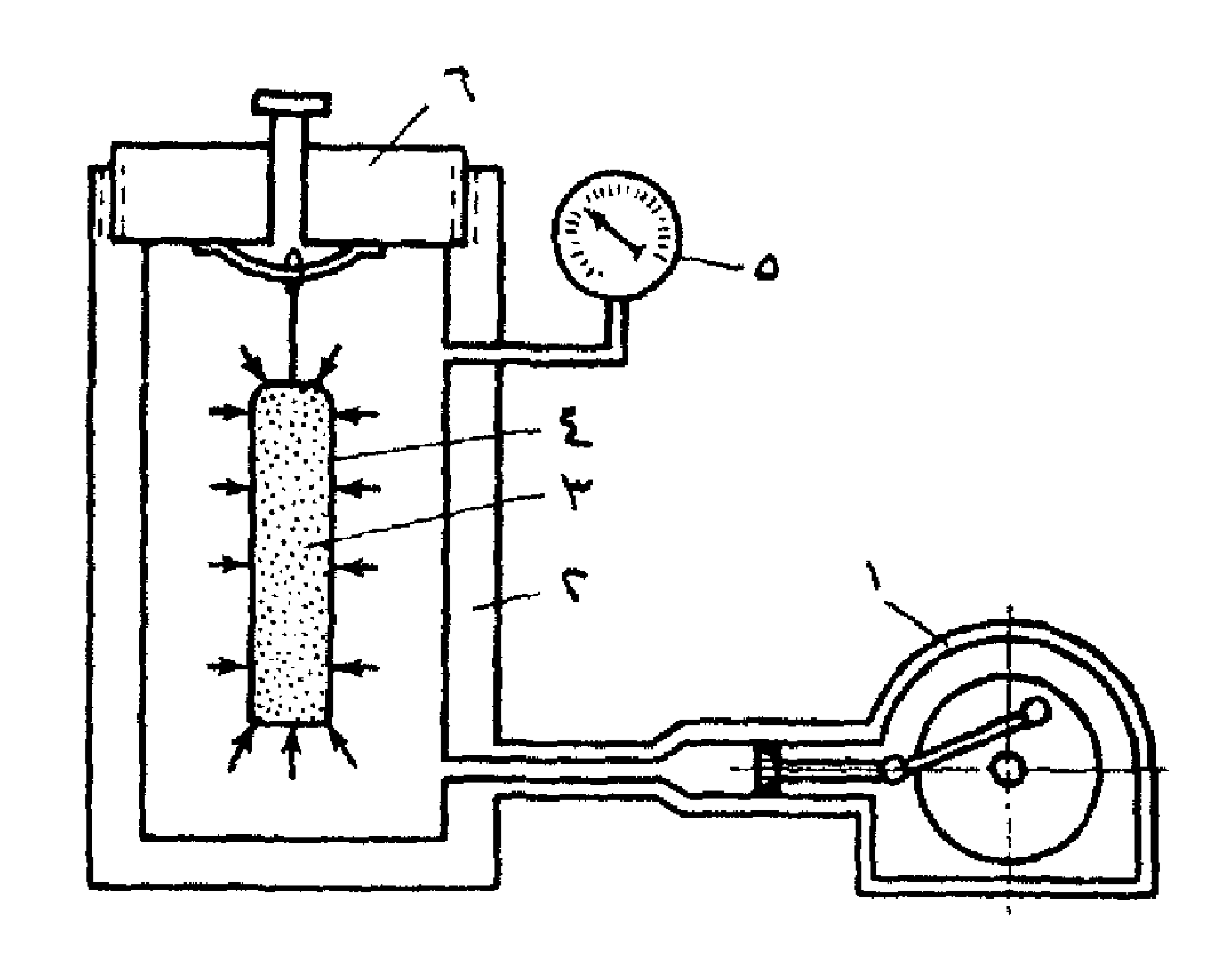
وفى الوقت الحاضر ، توجد معدات للكبس الهيدروستاتيكى ، يمكن بواسطتها الحصول على قطع يصل قطرها إلى ٦٠٠ مليمتر ، وارتفاعها إلى أكثر من متر ، ويزيد وزنها على نصف طن .

ويبين شكل (١٢٥) رسما تخطيطيا لجهاز الكبس الهيدروستاتيكى .

وتعتبر صعوبة الحصول على أبعاد قريبة من الأبعاد المطلوبة فى المكبوسات ، من العيوب الرئيسية لعملية الكبس الهيدروستاتيكى ، كذلك يلزم إجراء عمليات ميكانيكية لاحقة لحصول على منتجات نهائية .

٥ – درفلة أو طرق المساحيق فى أغلفة على الساخن :

يستخدم التشكيل على الساخن ، لحصول على منتجات ذات كثافة عالية . ويتم ذلك بواسطة الدرفلة أو الطرق للمساحيق وهى معبأة فى أغلفة خاصة . وهذه الطريقة يجرى تطبيقها لحصول على قطع نصف مشغلة من المساحيق ، هى فى حقيقتها عملية كبس لجميع جوانب القطعة . وتتلخص العملية فى وضع شحنة المساحيق فى وعاء قابل للطرق ومحكم الإغلاق ، ثم تسخين الشحنة إلى درجة حرارة عالية ، دون نقطة انصهارها ، ثم تجرى الدرفلة أو الطرق على مراحل .



شكل (١٢٥) رسم توضيحى لجهاز الكبس الهيدروستاتيكى لمسحوق الألومنيوم

١ – مضخة ضغط عال ٢ – وعاء ٣ – مسحوق الألومنيوم
٤ – غلاف مرن ٥ – مانومتر ٦ – غطاء

وفى العادة ، يجرى إخراج المنتج من الغلاف بسهولة لعدم تلاحم أو تسابك المسحوق مع مادة الغلاف .

وبتطبيق هذه الطريقة ، يمكن الحصول على سبائك تخليقية للألومنيوم مع غيره من العناصر التى يصعب تسابكه معها فى الحالة المنصهرة . وتتميز هذه العناصر بإكساب الألومنيوم مقاومة عالية للتآكل ، لعدم ترسب أصناف (أطوار) جديدة ، فما زالت هذه السبائك التخليقية مخاليط ميكانيكية لمساحيق مكوناتها وليست مركبات كيميائية اندماجية .

وتتميز هذه الطريقة بعزل المساحيق تماما عن الغازات المختلفة كالأكسيجين والنتروجين وغيرهما ، مما يبعد عن القطع المنتجة أخطار التأكسد وتغلغل الغازات خلال بنية المعدن ، وما يترتب على ذلك من آثار ضارة .

٦ – درفلة المساحيق إلى شرائط :

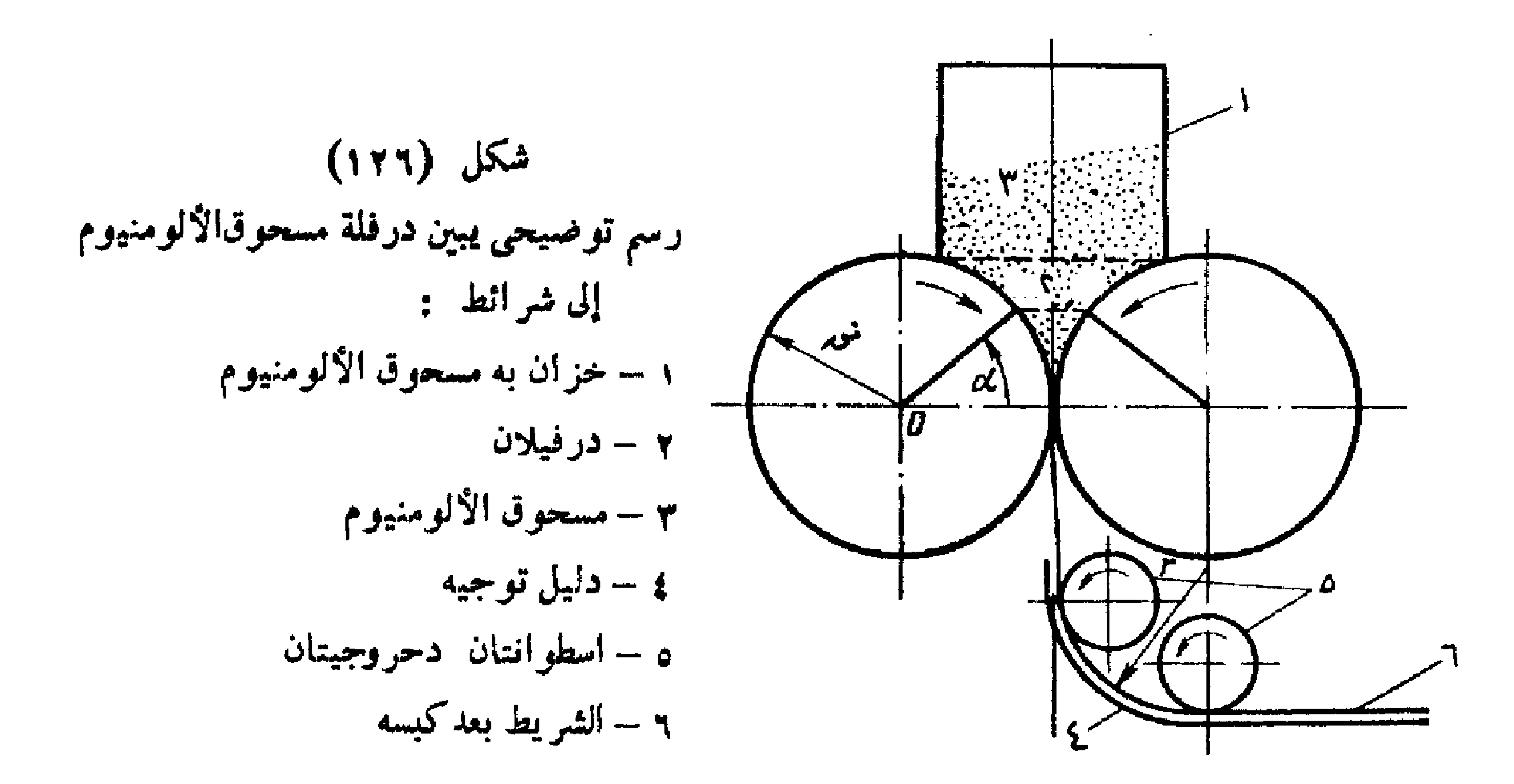
يمكن تطبيق هذه الطريقة فى الحالات التى لا تكون فيها دقة الأبعاد ذات أهمية أولى .

ولإجراء درفلة المساحيق إلى شرائط ، فإنها تشحن فى الوعاء (١) من الشكل (١٢٦) ، حيث تسقط المساحيق فى شق بين درفيلين أفقيين يدوران فى اتجاهين متضادين ، وبعبور المساحيق للشق (أو الممر) بين الدرفيلين ، فإنها تتكابس فى هيئة شريط متماسك ، لا يلبث أن يقابل مجموعة من الدرافيل الأخرى تعمل على توجيهه ليأخذ وضعا أفقيا ، ثم يولج فى فرن لتلبيده حراريا ، أو يلف مباشرة دون تلبيد على هيئة لفات ، ومن الممكن أن تتم درفلة المساحيق إلى شرائط على البارد أو على الساخن .

ويجرى تلبيد الشرائط المكبوسة داخل أفران متواصلة التشغيل فى جو من غاز الهيدروجين حتى لا تتأكسد ، ثم يجرى تلدينها بعد ذلك .

ومن الممكن إجراء عمليـــة التلبيد كهربائيا بالاستعانة بأجهزة تماس ، حيث يمرر تيار كهربائى مباشرة خلال الشريط ، فترتفع درجة حرارته ويتلبد ، ثم يتعرض لعملية تلدين مناسبة بعد ذلك .

(التلبيد عملية يتم خلالها تسخين الجزء المراد تلبيده حتى ينصهر جزئياً فيتماسك عند تبريده)



شكل (١٢٦)

رسم توضيحى يبين درفلة مسحوق الألومنيوم إلى شرائط :

١ – خزان به مسحوق الألومنيوم

٢ – درفيلان

٣ – مسحوق الألومنيوم

٤ – دليل توجيه

٥ – اسطوانتان دحروجيتان

٦ – الشريط بعد كبسه

٧ – كبس المساحيق بالبثق إلى أسلاك أو مواسير :

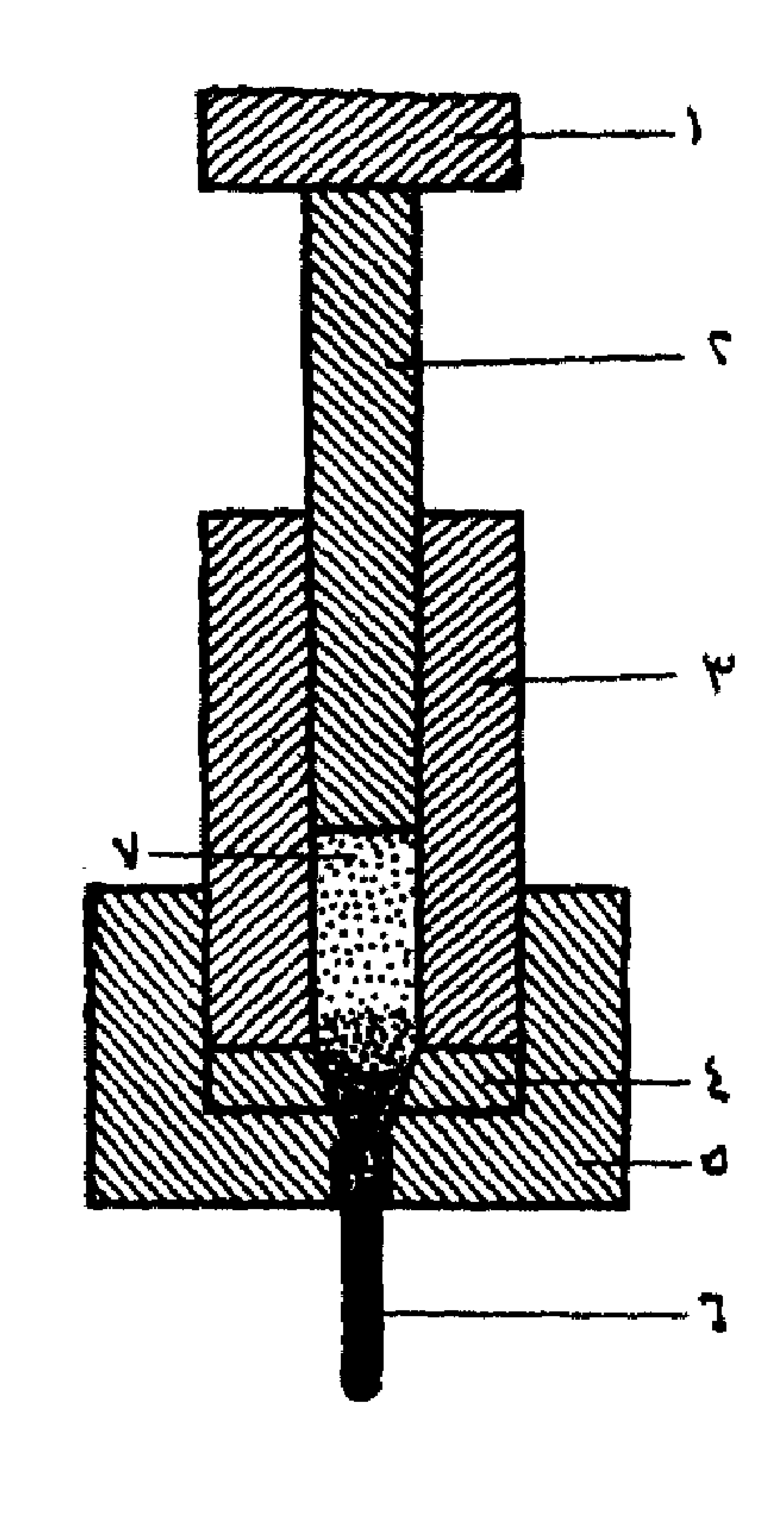
تتلخص فكرة الكبس بالبثق ، فى إمرار شحنة المساحيق – المعدة للكبس ، بعد تجهيزها وإضافة مواد مزلقة تساعد على زيادة اللدونة إليها – تحت ضغط مرتفع خلال فتحة البثق ، حيث يتم تكثيف المسحوق نتيجة للاحتكاك مع سطح فتحة البثق .

ويتميز الكبس بالبثق ، بالنسبة لطرق الكبس العادية ، بإمكانية الحصول على منتجات ذات كثافة متجانسة وبنسبة كبيرة بين أبعادها ، الطولية والمستعرضة .

ويوضح الشكل (١٢٧) رسما تخطيطيا لهذه الطريقة .

العلاقة بين ضغط الكبس وكثافة المنتجات :

أظهرت دراسة عملية الكبس ، أن زيادة كثافة المساحيق المكبوسة تحدث بانتظام كبير عند زيادة الضغط عن حد معين . فى أولى مراحل الكبس ، تؤدى أقل زيادة فى ضغط الكبس



شكل (١٢٧) رسم توضيحي يبين طريقة الكبس بالبثق إلى أسلاك أو مواسير :
١ – دافعة الكباس ٢ – كباس
٣ – وعاء فولاذي ٤ – جزء مخروطي
٥ – غلاف قالب الكبس
٦ – قطعة مكبوسة نصف جاهزة
٧ – مسحوق الألومنيوم

إلى زيادة ملحوظة في كثافة المساحيق . أما في المرحلة التالية ، فلا تؤدي زيادة ضغط الكبس إلى ازدياد يذكر في الكثافة ، كما هو مبين في الرسم البياني التوضيحي بالشكل (١٢٨) .

ويمكن تفسير هذه العلاقة بين الكثافة وضغط المكبس ، بأنه في البداية عند التأثير بضغوط صغيرة ، يحدث التكثيف أساسا نتيجة للإزاحة النسبية لجسيمات المسحوق ، وتنتشر هذه الإزاحة النسبية للجسيمات تحت تأثير ـ ضغط المكبس في جسم القطعة بصورة غير متجانسة . فتزاح الجسيمات الموجودة في أوضاع ملائمة داخل المسام المجاورة باحتكاك ملحوظ مع بعضها بعضا ، لذلك فإن سرعة إزاحة الجسيمات في اتجاه الكبس يساوي تقريبا سرعة إزاحة الكباس ، أما سرعة إزاحة الجسيمات الأخرى الموجودة في اتصال وثيق مع بعضها بعضا ، وخاصة الجسيمات الملامسة لسطح قالب الكبس ، فتكون أبطأ كثيرا . وينحصر الشغل المبذول في هذه المرحلة أساسا في التغلب على قوى الاحتكاك والتنافر بين الجسيمات .

ومع زيادة كثافة المنتجات وزيادة ضغط الكبس ، يبدأ تشوه جسيمات المسحوق نفسها . وفي هذه المرحلة يبذل جزء ملحوظ من الشغل في التغلب على الاحتكاك بين جسيمات المسحوق وأسطح قالب الكبس .

ومع زيادة الضغط ، في مراحل الكبس التالية ، تتكون تجميعات الجسيمات مع تنعيم وتهذيب أسطح الجسيمات نفسها . ويتركز الشغل المبذول في هذه المرحلة في صورة إجهادات مختلفة .

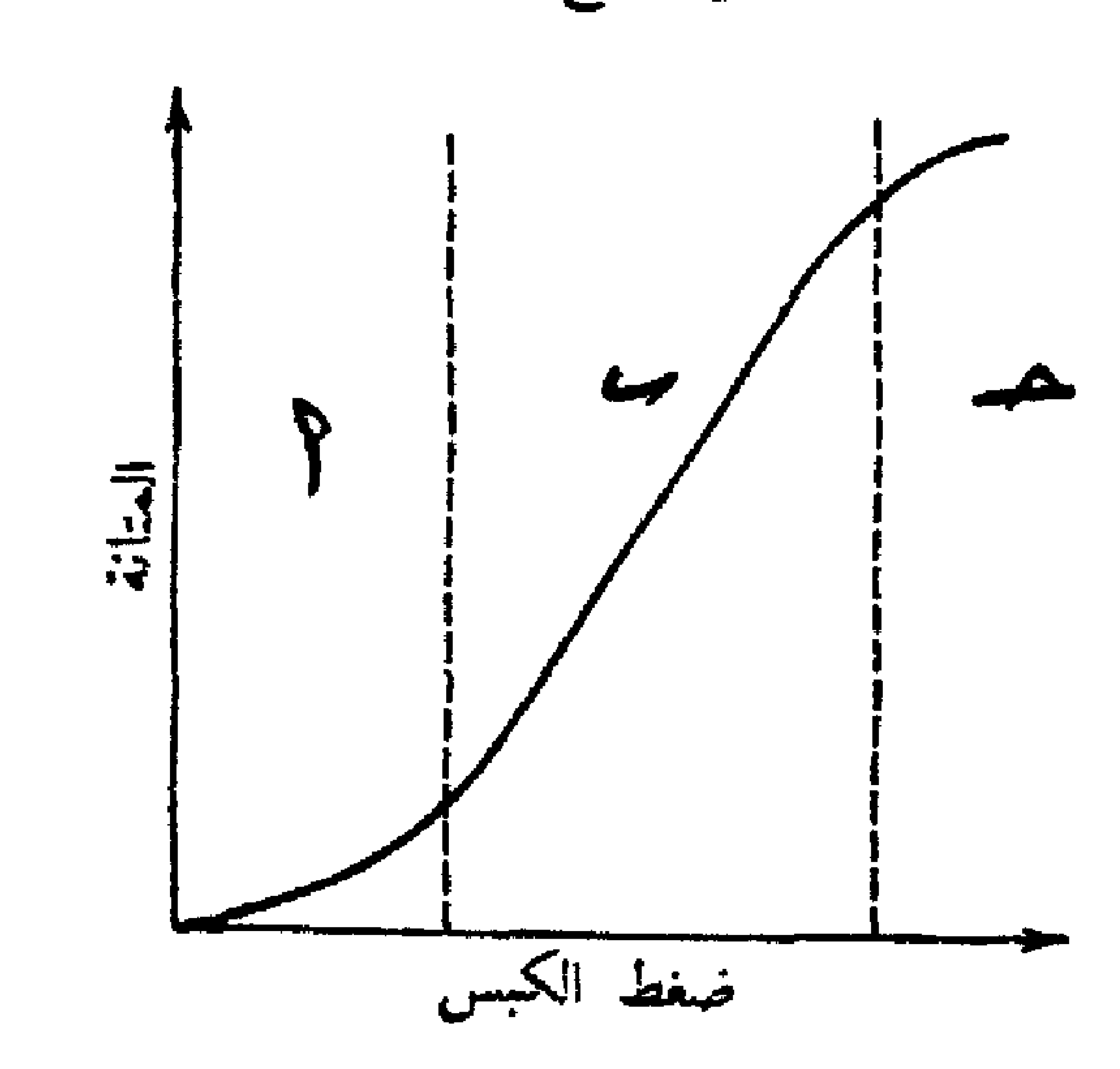
أ ب جـ
الكثافة
ضغط الكبس

شكل (١٢٨)
العلاقة بين كثافة القطع المنتجة بالكبس لمسحوق الألومنيوم وضغط الكبس :
مراحل الكبس :
(أ) المرحلة الأولى
(ب) المرحلة الثانية
(جـ) المرحلة الثالثة

تأثير ضغط الكبس على متانة المنتجات :

تتغير متانة المنتجات بصورة غير منتظمة مع تغير ضغط الكبس ، (الشكل ١٢٩) وفى المرحلة الأولى التى تناظر أقل ضغط ممكن ، تزداد المتانة بسرعة أعلى من سرعة زيادة الضغط ، وفى المرحلة الثانية عند الضغط المتوسط تزداد المتانة متناسبة مع الضغط ، وفى المرحلة الثالثة عند تسليط ضغط مرتفع تزداد المتانة ببطء شديد .

وتؤثر الشوائب تأثيرا بالغا على متانة المنتجات ، فعند وجود نسبة عالية من الشوائب على صورة أكاسيد ، تقل متانة المنتجات بصورة ملموسة . ويعزى ذلك إلى زيادة صلادة الطبقة السطحية لجسيمات مع نقص شديد فى لدونتها .



شكل (١٢٩) العلاقة بين متانة القطع المنتجة بالكبس لمسحوق الألومنيوم وضغط الكبس :
مراحل الكبس :
(أ) المرحلة الأولى
(ب) المرحلة الثانية
(جـ) المرحلة الثالثة

كبس مساحيق الألومنيوم على الساخن :

عند كبس مساحيق الألومنيوم (وسبائكه) على البارد ، يستهلك معظم الضغط المسلط فى تشويه جسيمات المساحيق . وزيادة لدونة جسيمات المساحيق تعمل على خفض الطاقة المستخدمة فى عملية الكبس بشكل ملحوظ ، كما تزيد من كثافة ومتانة المنتجات .

وكبس مساحيق الألومنيوم على الساخن ، من شأنه أن يؤدى إلى خفض الطاقة المبذولة للكبس ، كما يعمل على تلبيد المساحيق آنيا ، مما يساعد فى الحصول على منتجات تتمتع بخواص ممتازة من حيث المتانة والمطيلية والموصلية الكهربائية ، بالإضافة إلى دقة الأبعاد .

ويؤدى رفع درجة الحرارة عند الكبس على الساخن ، إلى تحسين الخواص الميكانيكية ، مع تسليط ضغط أقل .

ويعتبر خفض زمن التلبيد من أهم سمات طريقة الكبس على الساخن .

ويبين الجدول التالى ، رقم (٦) ، درجات الحرارة وزمن التلبيد اللازمين للوصول إلى نفس الخواص فى حالتى الكبس على الساخن ، والكبس ثم التلبيد ، على انفراد . كما يبين زمن التسخين ، ودرجة الحرارة عند التلبيد فى حالة الكبس على الساخن والبارد لمساحيق الألومنيوم .

جدول (٦)

نقطة الانصهار °م	الكبس على الساخن		التلبيد بعد الكبس على البارد	
	درجة الحرارة °م	زمن التسخين بالدقيقة	درجة الحرارة °م	زمن التسخين بالدقيقة
٦٥٨	٤٢٧	٠,٧٥	٤٨٢	١٥

ويفسر الانخفاض الكبير فى زمن التلبيد – كما هو موضح بالجدول – مع الحصول على كثافة عالية للمنتجات ، بأنه نتيجة لتأثير قوى الضغط الخارجى عند الكبس على الساخن ، حيث تساعد جسيمات المسحوق عند درجات الحرارة العالية على زيادة أسطح التلامس فيما بينها ، كما تنساب بسهولة ويسر فى شتى الاتجاهات ، وفى أغلب الأحيان يحدث انصهار جزئى لبعض جسيمات المسحوق عند أسطح تلامسها ، بسبب احتكاكها مع بعضها بعضا ، الأمر الذى يساعد على سرعة عمليات الانتشار الكيميائى بين جزئيات المسحوق ، وتسابكها ميتالورجيا متى كان ذلك متاحا .

تصنيع قطع السيراميك الفلزى التى تقاوم الحرارة من مساحيق الألومنيوم وأكسيده :

انتشر مؤخرا استخدام قطع السيراميك الفلزى المصنوعة من مساحيق الألومنيوم المزودة بنسبة من الأكسيد فى الصناعة ، لما تتميز به هذه السبائك من خواص ، منها قلة الوزن النوعى ، والمتانة واللدونة العاليتين ، والمقاومة الكبيرة للتآكل بأنواعه .

وقد أجريت تجارب لدراسة إعداد قطع من مساحيق الألومنيوم ، واستخدمت فى التجارب مساحيق الألومنيوم تم إعدادها عن طريق تذرية المعدن المنصهر ، بالتركيب الكيميائى التالى :

سيليكون	٠٫٧١٪
حديد	٠٫١٢٪
منجنيز	٠٫٠٦٪
نحاس	٠٫٠٨٪
زنك	٠٫٠٣٪
أكسيد ألومنيوم	٢٫٠٠٪
ألومنيوم	٩٧٫٠٠٪

ومن هذه التجارب ، تبين أنه يمكن الحصول على قطع مصنوعة من مساحيق الألومنيوم بكثافة نسبية ٩٩٪ بواسطة الكبس تحت ضغط ٥–٨ طن/سم^{٢} ثم تلبيد المنتجات . ومن الممكن الحصول على أكبر متانة من التلبيد عند درجة حرارة ٦٠٠°م لمدة لا تقل عن ٣٠ دقيقة .

ولمنتجات السيراميك الفلزى الذى يدخل فى تركيبها أكسيد الألومنيوم بنسبة تصل إلى ١٥ – ١٧٪ أهمية صناعية كبيرة ، فهى تتميز بمقاومة عالية للحرارة . ومتانة ممتازة عند درجات الحرارة المرتفعة ، ومن ثم يمكن استخدامها لصناعة القطاعات المكبوسة ، والمواسير ، والصفائح والمطروقات المختلفة كالكباسات ، وريش مضخات الطائرات .

استخدامات أخرى لمساحيق الألومنيوم وسبائكه :

بالإضافة إلى استخدام مساحيق الألومنيوم وسبائكه فى إنتاج المكبوسات وغيرها من المنتجات التى تستخدم فى شتى المجالات ، هناك عدة استخدامات هامة لها ، منها :

* **عمل الدهانات فضية اللون :** يمزج المسحوق مع المكونات الأخرى للدهان ، ثم تجرى عليه عدة عمليات كيميائية ملائمة ، للحصول على الدهان فى شكله النهائى . ويستخدم الدهان فى طلاء المعدات التى يراد وقايتها من المؤثرات الجوية ، أو لعكس نسبة كبيرة من أشعة الشمس . كما يستخدم هذا الدهان على نطاق واسع فى طلاء المستودعات البترولية . وعربات السكك الحديدية ، وأعمدة الإنارة وغيرها .

* **عامل مختزل فى صناعة الصلب :** يستخدم مسحوق الألومنيوم كعامل اختزال فى صناعة الصلب ، فتضاف نسبة من المسحوق إلى الصلب المنصهر فى البودقة لاختزال أكاسيد الحديد المتكونة ، ولإزالة الأكسيجين الموجود بالمصهور .

* **الثرميت :** الثرميت مخلوط من مسحوق الألومنيوم وأكسيد الحديد . وعند رفع درجة حرارة هذا المخلوط إلى درجة معينة ، ينشط الألومنيوم كيميائيا ، حيث يقوم بانتزاع

الأكسيجين من أكسيد الحديد ، وينتج عن ذلك أكسيد الألومنيوم ومصهور الحديد الفلزى ، مع انطلاق كية لا بأس بها من الحرارة تعمل على صهر الحديد المختزل . طبقا للمعادلة الآتية :

عند درجة حرارة
أكسيد حديد + ألومنيوم ←——— أكسيد ألومنيوم + حديد + حرارة .
مرتفعة

وفى بعض الأحيان ، تضاف إلى مخلوط أكسيد الحديد ومسحوق الألومنيوم ، كميات صغيرة من بعض الفلزات الأخرى ، مثل النيكل والمنجنيز ، للحصول على سبائك معينة من الصلب . ويستخدم الثرميت فى لحام المعادن ، وفى صنع القنابل الحارقة . وكان فوتين أول من اكتشف تفاعل هذا المخلوط عام ١٨٩٤ ، وتمكن العالم الألمانى دكتور هانز جولد شميث من الاستفادة من هذا التفاعل فى لحام قضيبين من الصلب بواسطة الصلب المنصهر الناتج .

وهناك طريقة أخرى مبتكرة تعتبر تعديلا للطريقة الأولى ، ويطلق عليها « طريقة كادويل » ، على اسم مكتشفها ، وفيها يستخدم فى المخلوط الثرميتى أكسيد النحاس بديلا عن أكسيد الحديد ، للحصول على النحاس المنصهر الذى يستخدم فى لحام الكابلات الكهربائية .

ولإجراء عملية اللحام بالثرميت ، يوضع مخلوط مسحوق الألومنيوم والأكسيد المعدنى فى بودقة حرارية ، وبعد إشعال الخليط وتكون المعدن المنصهر ، يصب هذا المعدن من فوهة البودقة إلى حيز سبق إعداده حول حافتى القطعتين المراد لحامهما ، فينصهر بالتالى جزء من الحافتين نتيجة للحرارة الشديدة ، وبتجمد منطقة المعدن المنصهر تتلاحم القطعتان وتتماسكان .

ويستخدم الثرميت أيضا فى صنع القنابل الحارقة ، حيث تكون الحرارة المتولدة كافية لإضرام الحريق فيما تقع عليه من أهداف معادية . وقد تتكون القنبلة من أسطوانة من المغنسيوم محشوة بالثرميت . ويوجد عند طرفها الأسفل مادة متفجرة تشتعل بمجرد اصطدام القنبلة بالهدف ، فتشعل بدورها خليط الثرميت الذى يؤدى إلى اشتعال المغنسيوم ، وتكون الحرارة المتولدة من الصلب المنصهر والمغنسيوم كافية لإشعال حرائق خطرة .

الملحق (١)

الجدول الدوري للعناصر

العناصر الإنتقالية

																		صفر
١	يد ١																	هي ٢
٢	لث ٣	بير ٤											ب ٥	ك ٦	ن ٧	أ ٨	فل ٩	نن ١٠
٣	ص ١١	مغ ١٢											لو ١٣	س ١٤	فو ١٥	كب ١٦	كل ١٧	جو ١٨
٤	بو ١٩	كا ٢٠	سك ٢١	تي ٢٢	فا ٢٣	كر ٢٤	من ٢٥	ح ٢٦	كو ٧	نك ٢٨	نح ٢٩	خ ٣٠	جا ٣١	جر ٣٢	ز ٣٣	سل ٣٤	بر ٣٥	كبن ٣٦
٥	بيد ٣٧	ست ٣٨	يتر ٣٩	كن ٤٠	نيب ٤١	مو ٤٢	تك ٤٣	تم ٤٤	من ٥	بلد ٤٦	فض ٤٧	كد ٤٨	ند ٤٩	ق ٥٠	نت ٥١	تيل ٥٢	ى ٥٣	نو ٥٤
٦	سز ٥٥	با ٥٦	٥٧ - ٧١ الفلزات الأرضية النادرة	هف ٧٢	تا ٧٣	تن ٧٤	نيم ٧٥	م ٧٦	ير ٧	بلا ٧٨	ذ ٧٩	ـ ٨٠	ثا ٨١	ر ٨٢	بز ٨٣	بل ٨٤	ستا ٨٥	٨٦
٧	فر ٨٧	ر ٨٨	٨٩ - ١٠٣ السلسلة الأكتينية															

الفلزات الأرضية النادرة

لن ٥٧	سر ٥٨	بس ٥٩	نيو ٦٠	مث ٦١	سم ٦٢	بي	جد ٦٤	تر ٦٥	يس ٦٦	هو ٦٧	بيو ٦٨	ثل ٦٩	يت ٧٠	لت ٧١

كت ٨٩	ثو ٩٠	بت ٩١	يو ٩٢	نب ٩٣	بلو ٩٤	مر ٥	كم ٩٦	بك ٩٧	كف ٩٨	ثن ٩٩	فم ١٠٠	مف ١٠١	نل ١٠٢	لو ١٠٣

الملحق (٢)

العناصر الكيميائية ورموزها

مسلسل	العنصر	الرمز عربي	الرمز أفرنجي
١	إتريوم	يتر	Y
٢	اربيوم	ير	Er
٣	أرجون	جو	Ar
٤	أزميوم	م	Os
٥	أستاتين	ستا	At
٦	أكتينيوم	كت	Ac
٧	ألومنيوم	لو	Al
٨	امريسيوم	مر	Am
٩	أنتيمون	نت	Sb
١٠	انديوم	ند	In
١١	اوربيوم	ب	Eu
١٢	أكسيجين	أ	O
١٣	ايتر بيرم	يت	Yb
١٤	أيريديوم	ير	Ir
١٥	اينشتينيوم	ش	Es
١٦	باديوم	با	Ba
١٧	بالاديوم	بلد	Pd
١٨	براسيوديميوم	بس	Pr
١٩	بروتكتينيوم	بت	Pa
٢٠	بروم	بر	Br
٢١	بروميثوم	بث	Pm
٢٢	بزموت	بز	Bi
٢٣	بلاتين	بلا	Pt
٢٤	بلوتونيوم	بلو	Pu
٢٥	بوتاسيوم	بو	K
٢٦	بورون	ب	B
٢٧	بولونيوم	بل	Po
٢٨	بيركليوم	بك	Bk
٢٩	بيريليوم	بير	Be
٣٠	تربيوم	تر	Tb
٣١	تكتينوم	تك	Tc
٣٢	تليوريوم	تل	Te
٣٣	تنتاليوم	تا	Ta
٣٤	تنجستن	تن	W
٣٥	تيتانيوم	تي	Ti
٣٦	ثاليوم	ثا	Tl
٣٧	ثوريوم	ثر	Th
٣٨	ثوليوم	ثل	Tm
٣٩	جاليوم	جا	Ga
٤٠	جدولينيوم	جد	Gd
٤١	جرمانيوم	جر	Ge
٤٢	حديد	ح	Fe
٤٣	خارصين	خ	Zn
٤٤	دسبروزيوم	يس	Dy
٤٥	ذهب	ذ	Au
٤٦	رادون	د	Rn
٤٧	راديوم	ر	Ra
٤٨	رصاص	ص	Pb
٤٩	روبيديوم	بيد	Rb
٥٠	روثنيوم	ثم	Ru
٥١	روضيوم	ض	Rh
٥٢	رينيوم	نيم	Re

مسلسل	العنصر	الرمز عربي	الرمز أفرنجي
٥٣	زئبق	ـــے	Hg
٥٤	زركونيوم	كن	Zr
٥٥	زرنيخ	ز	As
٥٦	زينون	نو	Xe
٥٧	سترنشيوم	ست	Sr
٥٨	سريوم	سر	Ce
٥٩	سزيوم	سز	Cs
٦٠	سكانديوم	سك	Sc
٦١	سلينيوم	سل	Se
٦٢	سماريوم	سم	Sm
٦٣	سيليكون	س	Si
٦٤	صوديوم	ص	Na
٦٥	فاناديوم	فا	V
٦٦	فضة	ف	Ag
٦٧	فلور	فل	F
٦٨	فرميوم	فم	Fm
٦٩	فرنسيوم	فر	Fr
٧٠	فوسفور	فو	P
٧١	قصدير	ق	Sn
٧٢	كاليفورنيوم	كف	Cf
٧٣	كبريت	كب	S
٧٤	كدميوم	كد	Cd
٧٥	كربون	ك	C
٧٦	كروم	كر	Cr
٧٧	كريبتون	كن	Kr
٧٨	كلسيوم	كا	Ca
٧٩	كلور	كل	Cl
٨٠	كوبلت	كو	Co
٨١	كوريدم	كم	Cm
٨٢	لانثانوم	لن	La
٨٣	لوتيشيوم	لت	Lu
٨٤	لورنسيوم	لر	Lw
٨٥	ليثيوم	لث	Li
٨٦	مغنسيوم	مغ	Mg
٨٧	مندلفيوم	مف	Md
٨٨	منغنيز	من	Mn
٨٩	موليبدين	مو	Mo
٩٠	نبتونيوم	نب	Np
٩١	نتروجين	ن	N
٩٢	نحاس	نح	Cu
٩٣	نوبليوم	نل	No
٩٤	نيكل	نك	Ni
٩٥	نيوبيوم	نيب	Nb
٩٦	نيوديميوم	نيو	Nd
٩٧	نيون	نن	Ne
٩٨	هفنيوم	هف	Hf
٩٩	هليوم	هي	He
١٠٠	هولميوم	هو	Ho
١٠١	هيدروجين	يد	H
١٠٢	يود	ى	I
١٠٣	يورانيوم	يو	U
—	—	—	—

الملحق (٣)
تأثير بعض الكيماويات على الألومنيوم وسبائكه

التصنيف :

الكيماويات التى تنتمى إلى القسم « أ » : لا يتأثر الألومنيوم بدرجة خطيرة بهذه الكيماويات عند درجات الحرارة المعتادة وفى غياب العوامل التى تعمل على تعقيد الموقف ، مثل الشوائب الأكالة فى هذه الكيماويات أو التأثير الجلفانى الذى ينتج عن اتصال فلزين غير متشابهين .

الكيماويات التى تنتمى إلى القسم «ب» : يجب عدم استخدام الألومنيوم إلا بعد إجراء تجارب عليه والتأكد من صلاحيته فى هذه الظروف .

الكيماويات التى تنتمى إلى القسم « × » : لا يمكن استخدام الألومنيوم بصورة مرضية إلا إذا كانت هناك ظروف خاصة عند الاستخدام ، وحتى فى هذه الحالة فإنه يجب تجربته .

أينما أوصى باستخدام الألومنيوم (١) ، أو أجيز محاولة استخدام (ب) ، فإن التوصيات تشير ضمنا إلى الكيماويات المركزة (١٠٠٪) إلا إذا نص على غير ذلك ، وأينما أوصى بعدم استخدام الألومنيوم (×) ، فإن التوصيات تتضمن الكيماويات عند أية درجة تركيز .

١ – عوامل غير عضوية		التصنيف
أحماض غير عضوية	محاليل حمض البوريك ١–٥٪	أ
	حمض الكروميك (النقى) (بأى تركيز)	ب
	حمض الهيدروكلوريك	×
	حمض الهيدروفلوريك ١ – ٦٠٪	×
	حمض النتريك	ب
	حمض الفوسفوريك	×
	حمض الكبريتيك	ب
	حمض الكبريتوز	ب
الأمونيا ومركبات الأمونيوم	الأمونيا ، غاز أو سائل	أ
	فلوريد الأمنيوم (بأى تركيز)	ب
	هيدروكسيد الأمونيوم – الوزن النوعى ٨,٨	ب
	أملاح الأمونيوم (معظمها)	ب
	كبريتيد الأمونيوم (بأى تركيز)	أ

أملاح الفلزات وهيدروكسيداتها	أملاح حمضيـة	ب
	البيكربونات القاعـدية للفلزات	أ
	الكربونات القاعدية للفلزات (بأى تركيز)	×
	الهيدروكسيدات القاعدية للفلزات (بأى تركيز)	×
	الخـرصينات (بأى تركيز)	ب
	محاليل البوركس ١ – ٣ ٪	ب
	البروميدات	×
	الكلوريـدات (جميعها)	×
	الكرومات (أغلبها) بأى تركيز	ب
	فلمينات الزئبق	×
	أملاح الفلزات الثقيلة (معظمها)	×
	الهيدروكسيدات (أغلبها) بأى تركيز	×
	الأيـوديـدات	×
	أملاح الزئبق	×
	النترات (جميعها)	ب
	البرومنجنات (معظمها) بأى تركيز	أ
	الفوسفاتات (معظمها) بأى تركيز	×
	هيدروكسيد البوتاسيوم (بأى تركيز)	×
	نتريد البوتاسيوم	أ
	الملح (كلوريد الصوديوم)	ب
	هيدروكسيد الصوديوم (بأى تركيز)	×
	سليكات الصوديوم (الزجاج المائى) بأى تركيز	ب
	الكبريتـات	أ
المـاء	بخار المـاء ١٠٠٪	أ
	المـاء (به كربونات)	أ
	المـاء (به كلور)	×
	المـاء (المقطر)	أ
	مـاء المطر	أ

١ – عوامل غير عضوية		التصنيف
عوامل غير عضوية مختلفة	محاليل القصر	×
	الفلور	×
	فوق أكسيد الهيدروجين ٣–٣٠ ٪	ب
	كبريتيد الهيدروجين	أ
	حبر (حديدى) ١٠٠٪	ب
	الزئبق	×
	غازات نتروجينية ١٠٠٪	ب
	الأكسيجين	أ
	الكبريت	أ
	ثانى أكسيد الكبريت	أ

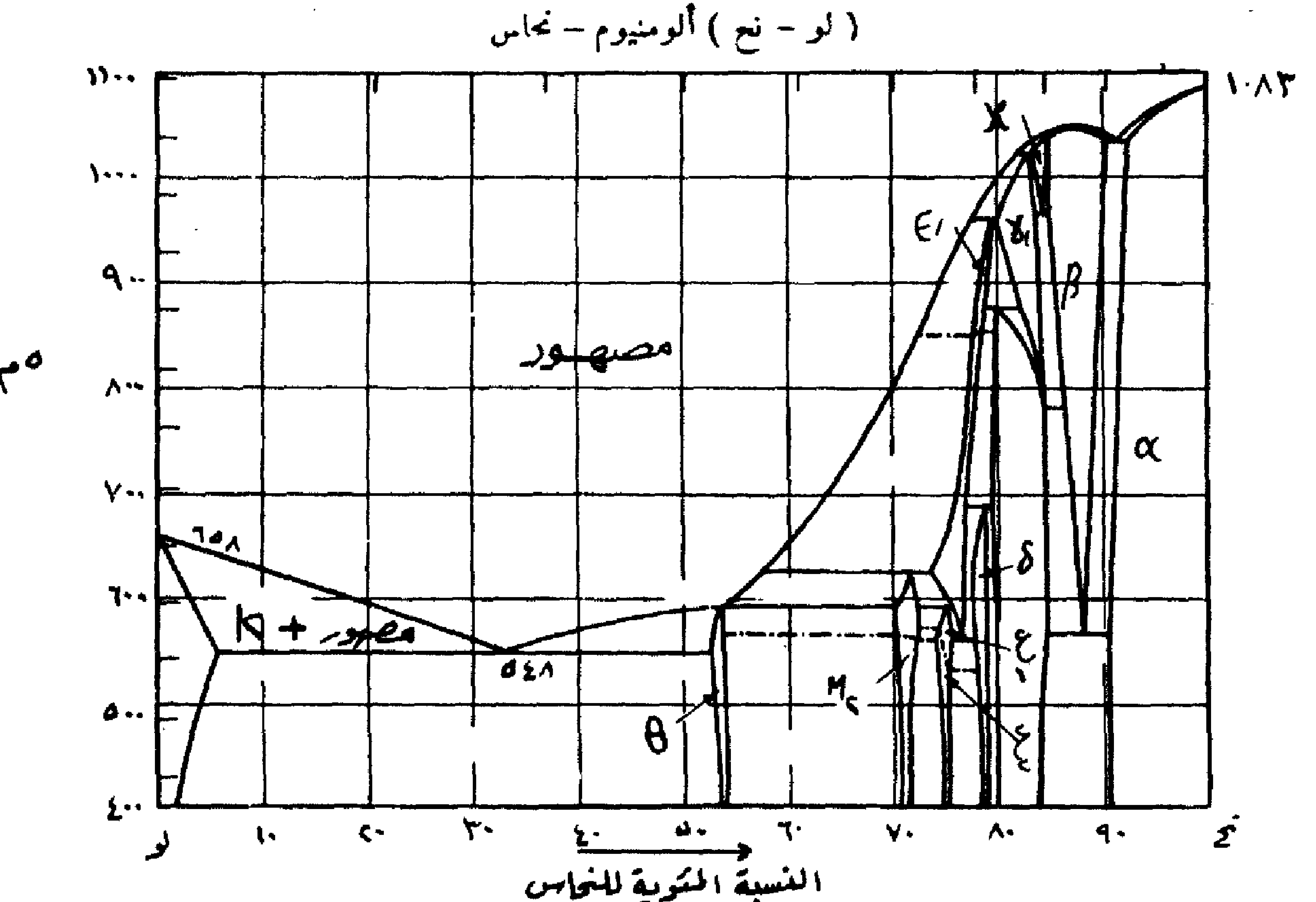
٢ – عوامل عضوية		التصنيف
أحماض عضوية	حمض الخليك	أ
	حمض الكربوليك (الفينول)	أ
	الأحماض الدهنية	أ
	حمض الكربونيك	أ
	أحماض الفواكه	ب
	أحماض عضوية (معظمها)	ب
كحولات	كحول بوتيل	ب
	كحول إيثيل	ب
	كحول ميثيل (١٠٠٪)	ب
	كحولات أعلى	ب
قطران الفحم ومشتقاته	أنيلين ، سائل	×
	أنثراسين	ب
	حمض الأنثرانيك	×

٢ عوامل عضوية		التصنيف
	بـنزين	أ
	كـريزول	ب
	نفتالـين	ب
	فينول (حمض الكربوليك)	أ
	تولوين	أ
مـواد غـذائية	البيرة ١٠٠٪	أ
	الزبـد ١٠٠٪	أ
	دهـون (خالية من الأحماض)	أ
	عصير الفواكه	ب
	جيلاتين (بأى تركيز)	أ
	زيـوت نباتيـة	أ
	محاليل سكرية بأى تركيز (خالية من الإحماض)	أ
	الخـل	أ
زيوت ، شحوم ، شموع ، ومنتجات زيوت البترول	أسفلت	أ
	زيوت الخروع	أ
	جازولين (خالى من الرصاص)	أ
	جازولين (به رصاص)	ب
	شحم (خالى من الأحماض)	أ
	زيت الباكم الهيدروليكية	أ
	الهيدروكربونات	أ
	الكيروسـين	أ
	زيت بذر الكتان	أ
	زيت حيوانى (خالى من الأحماض والكلوريدات)	أ
	زيت معدنى (خالى من الكلوريدات)	أ
	زيت نباتى (خالى من الكلوريدات)	أ
	مشتقات البترول (خالية من الكلوريدات)	أ
	قـار	أ
	شمع (خالى من الأحماض)	أ

عوامل عضوية مختلفة	أستلدهايد	أ
	أسيتون (بأى تركيز)	أ
	أستيلين	أ
	كـافــور	ب
	ثانى كبريتيد الـكربون	أ
	ثانى أكسيد الكربون	أ
	أول أكسيد الكربون	أ
	رابع كلوريد الكربون (جاف)	ب
	سليولــوز	أ
	كلورفــورم	×
	الكوبال (صمغ راتنجى)	أ
	أثــير	أ
	خلات الإيثيل (جافة)	ب
	كلوريد الإيثيل (جاف)	أ
	بروميد الإيثيلين	ب
	جليكول الإيثلين	ب
	الفورمالدهيد (بأى تركيز)	ب
	غـاز الإضاءة	أ
	صمغ ، غراء (بأى تركيز)	ب
	جليسرين	أ
	حــبر (صباغــة)	ب
	كلوريـد الميثيل	×
	نترو جليسرين	أ
	مــبردات	ب
	مطاط ومواد لاحمة له	أ
	محاليل الدباغــة	ب
	رابع كلوريد الإيثلين (جاف)	أ
	زيت التربنتينــا	أ
	اليــوريا	أ

الملحق (٤)

بعض منحنيات الإتزان الحرارى لمجموعات ثنائية لسبائك الألومنيوم



يتضح من الشكل أن علاقات الاتزان فى المنطقة بين ٢٠–٣٠٪ ألومنيوم لم يستدل عليها تماما . وخلال تبريد سريع يتحول الصنف β إلى واحد من ثلاثة أصناف شبه مستقرة .

ذائبية النحاس فى الألومنيوم فى الحالة الصلبة : ٤,١٪ عند ٥٠٠°م ، ٢,٦٪ عند ٤٥٠°م ، ١,٥٪ عند ٤٠٠°م ، ٠,٨٥ ٪ عند ٣٥٠°م ، ٠,٤٥ ٪ عند ٣٠٠°م

ذائبية الألومنيوم فى النحاس فى الحالة الصلبة : ٨٪ عند ٨٩٠°م ، ٨,٥٪ عند ٧٩٠°م ، ٩ ٪ عند ٦٩٠°م ، ٩,٤ ٪ عند ٥٦٠°م .

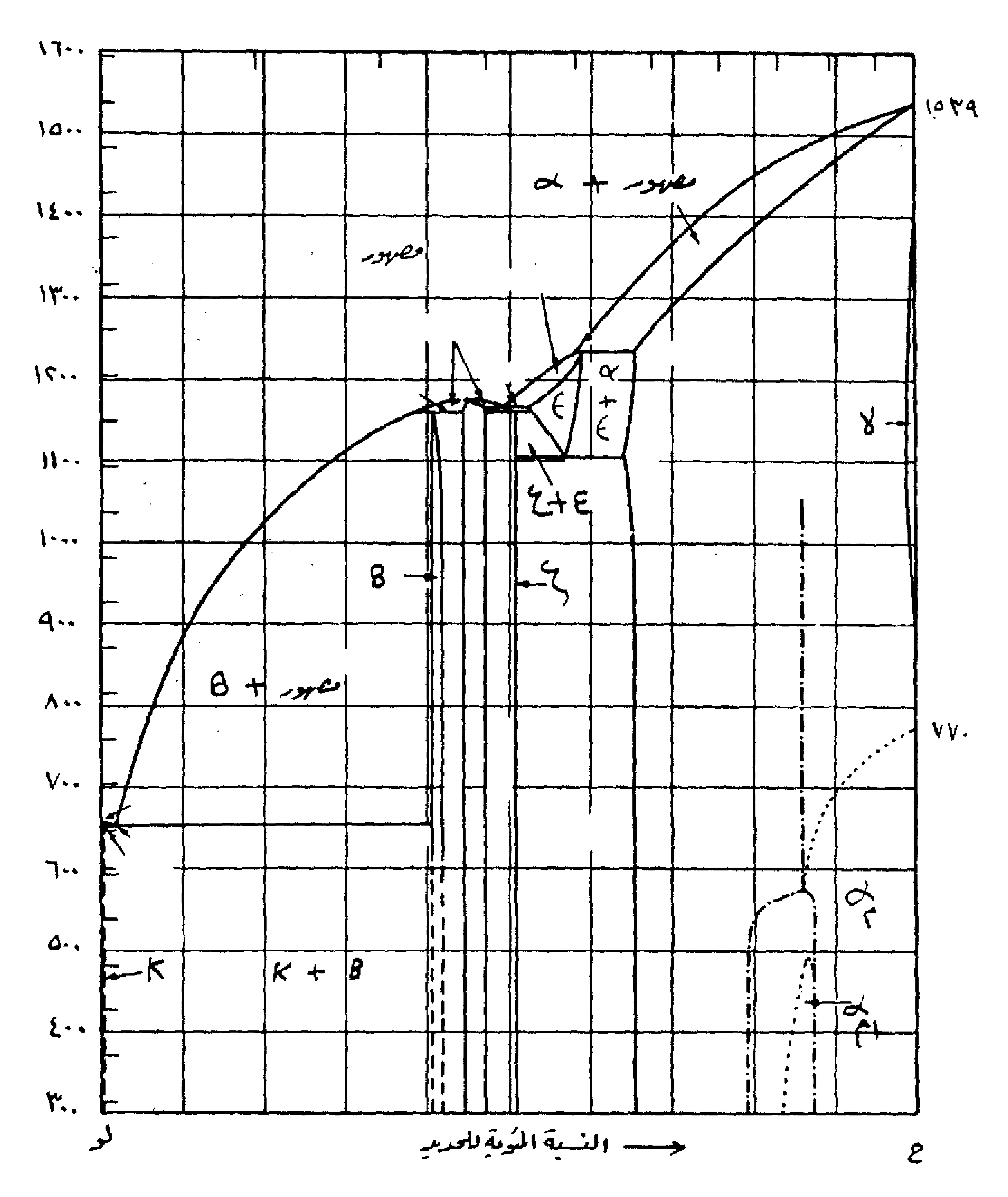
السبائك التى تقع عند طرفى منحنى الاتزان لها أهمية اقتصادية ، ومن ثم فن المستصوب رسم طرفى هذا المنحنى بشئ من التفصيل .

تحتوى سبائك برونز الألومنيوم (الغنية بالنحاس) على نسب تتراوح بين ٤–١١٪ من الالومنيوم مع – أو بدون – عناصر سبيكة أخرى أهمها الحديد أو الحديد والنيكل .

وتحتوى سبائك الالومنيوم فى هذه المجموعة على نسبة تتراوح بين ١٢–١٥٪ من النحاس ، بالرغم من أن سبائك الالومنيوم القابلة للتشكيل لا تحتوى – عادة – على أكثر من ٥٪ من النحاس .

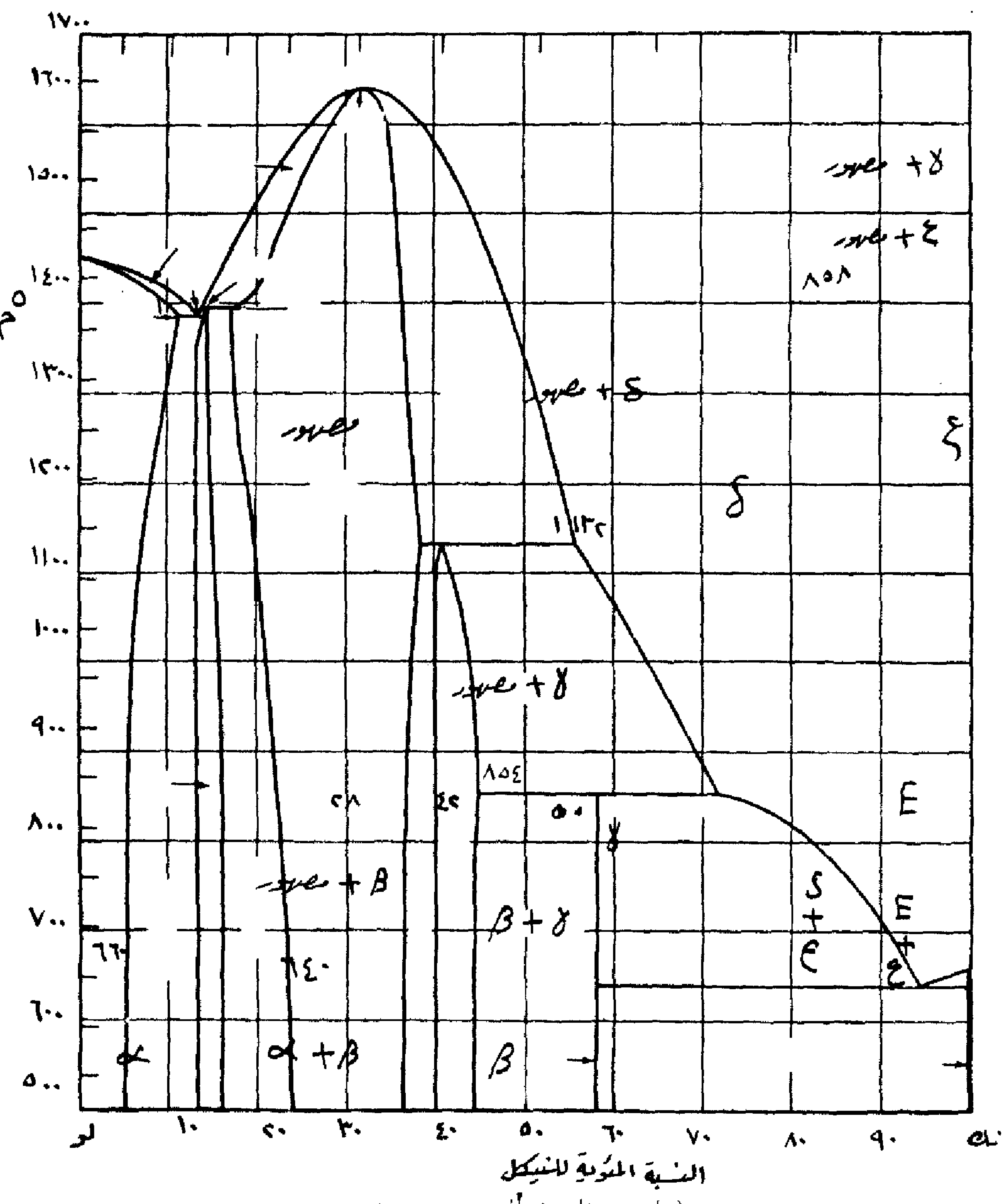
وتتعرض سبائك الألومنيوم التى تحتوى على النحاس (سواء القابلة للتشكيل أو سبائك المسبوكات) للمعاملة الحرارية بهدف تحسين خواصها الميكانيكية .

* * *



(لو – ح) ألومنيوم – حديد

يتضح من الشكل البيانى أن الصنف θ والذى يناظر تقريبا الصيغة ح لو٣ ، يتحول إلى الصيغة ح٢ لو٧ درجة حرارة أقل قليلا من ٦٠٠° م. تصل ذائبية الحديد فى الألومنيوم النقى إلى حوالى ٠,٠٣ ٪ عند درجة حرارة اليوتكتى (٦٥٥° م) ، وتقل بانخفاض درجة الحرارة .



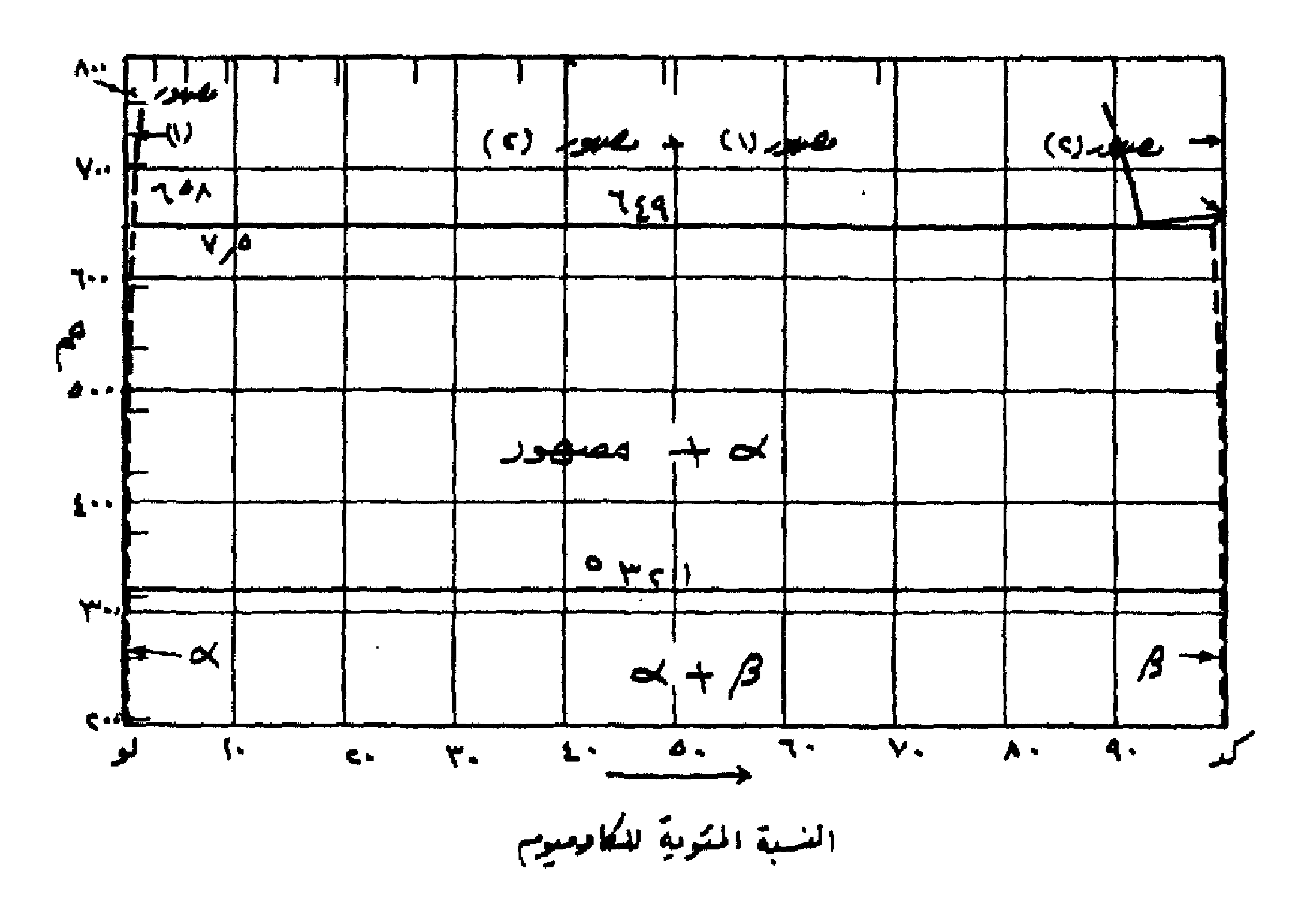
(لو – نك) ألومنيوم – نيكل

يستخدم النيكل عنصر سبيكيا يضاف إلى الألومنيوم وسبائكه ، خاصة السبائك التي تحتوى على المغنسيوم والنحاس ، والسبائك التي تحتوى على المغنسيوم والسيليكون . ويؤدى وجود النيكل إلى زيادة متانة هذه السبائك عند درجات الحرارة العالية ، كما يؤدى إلى تقليل معامل التمدد الحرارى ، ولكن تقل مقاومة السبيكة نتيجة لإضافة هذا العنصر للتآكل الكيميائي إلى حد ما .

وتستخدم كثير من سبائك الألومنيوم التي تحتوى على النيكل في صناعة المزدوجات الحرارية .

من منحنى الاتزان الحرارى ، يتضح أن ذائبية النيكل في الألومنيوم في حالة الصلابة هي كما يلي :

٠٫٠٤٪ عند ٦٢٥°م ‏ ‏ ٠٫١٨٪ عند ٥٧٠°م ‏ ‏ ٠٫٠٠٦٪ عند ٥٠٥°م



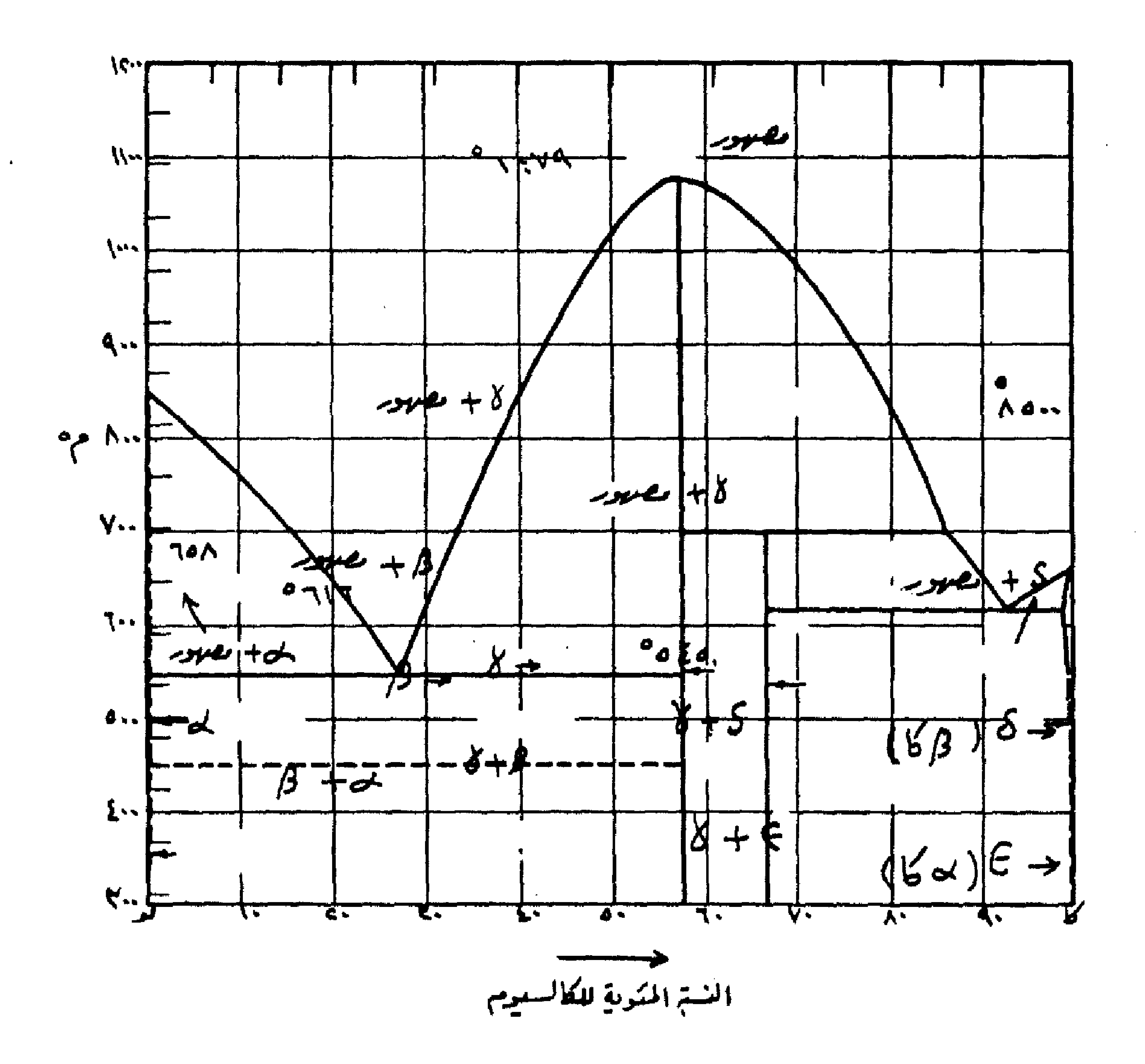
(لو–كد) ألومنيوم – كد ميوم

لم تحظ هذه المجموعة الثنائية بالأهتمام المناسب لدى الباحثين ، وأن كان قد تم رسم منحنى الاتزان لهذه المجموعة ، إلا أن كثيرا من تفاصيله لم تحدد بدقة كافية .

ووجد أن ذائبية الكادميوم فى الألومنيوم فى حالة الصلابة منخفضة وتبلغ ١٪ عند درجة حرارة اليوتكتى (٦٤٩م ٥) . ولكن فيما يختص بذائبية الألومنيوم فى الكادميوم فى حالتى الصلابة والانصهار ، فهى غير متاحة ، وعلى الأرجح فهى متناهية الصغر .

ويوصى باستخدام الكادميوم فى سبائك الألومنيوم للحام ، وفى سبائك الألومنيوم التى تستخدم فى المحامل ، وفى سبائك الألومنيوم سهل القطع .

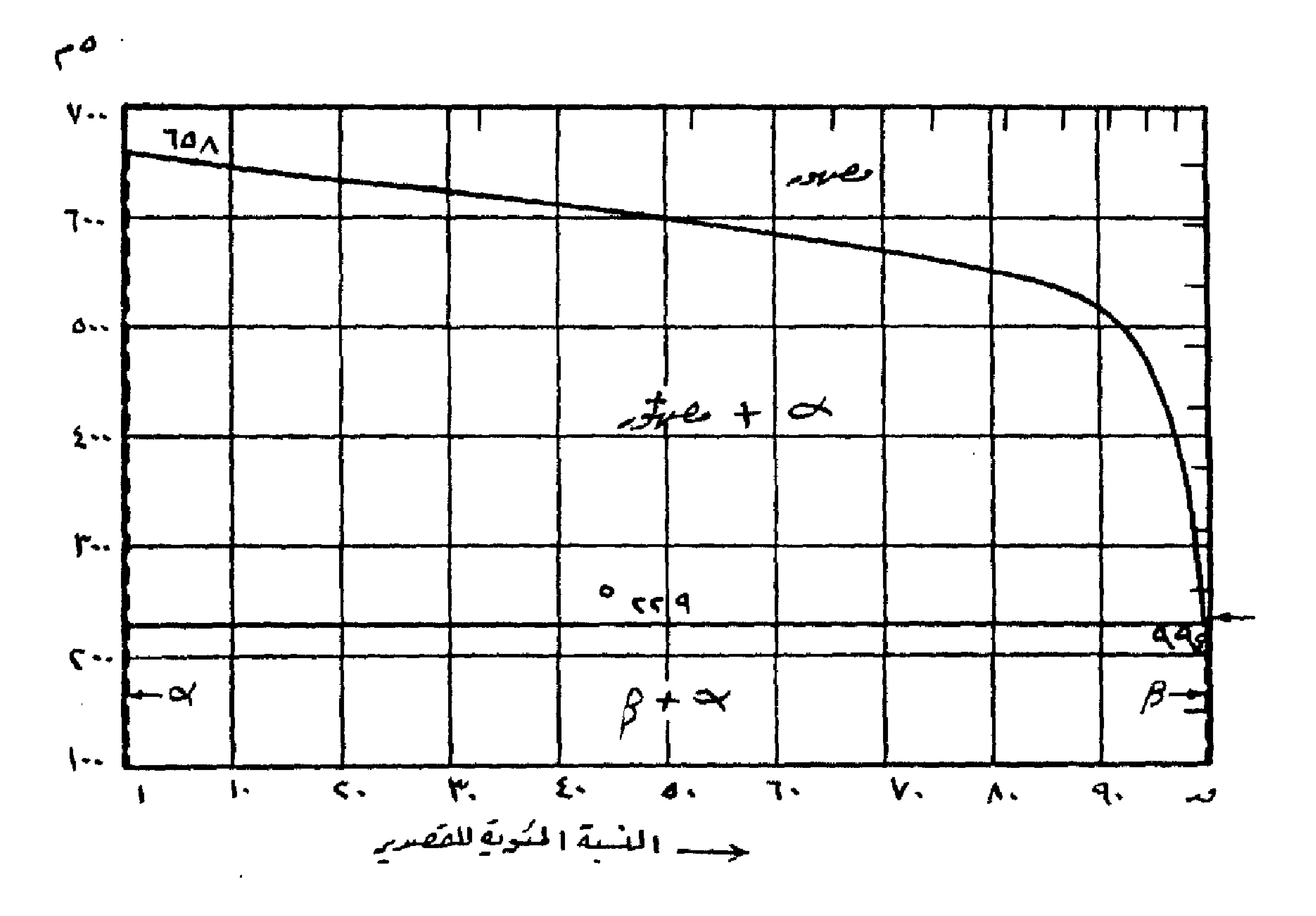
* * *



(لو–كا) ألومنيوم – كلسيوم

نسبة تذاوب الكلسيوم فى حالة الصلابة منخفضة وتبلغ ٦ر٠٪ عند ٦٠٠°م ، وتزداد بحدة حتى تبلغ ٨ر٢٪ عند ٦١٦°م . وطبقا للمعلومات المتاحة ، فإن الصنف B يناظر الصيغة الكيمائية لو٣ كا ، وإن كان قد أشير حديثا إلى أن الصيغة الأكثر تأكيدا هى لو٤ كا .

وليس لسبائك الألومنيوم – الكلسيوم أية أهمية تجارية . ومع ذلك يستخدم الكلسيوم تجاريا كمنصر سبيكى ثانوى فى سبائك الديورالومين ، بهدف تحسين قابليتها للتشغيل على الساخن .

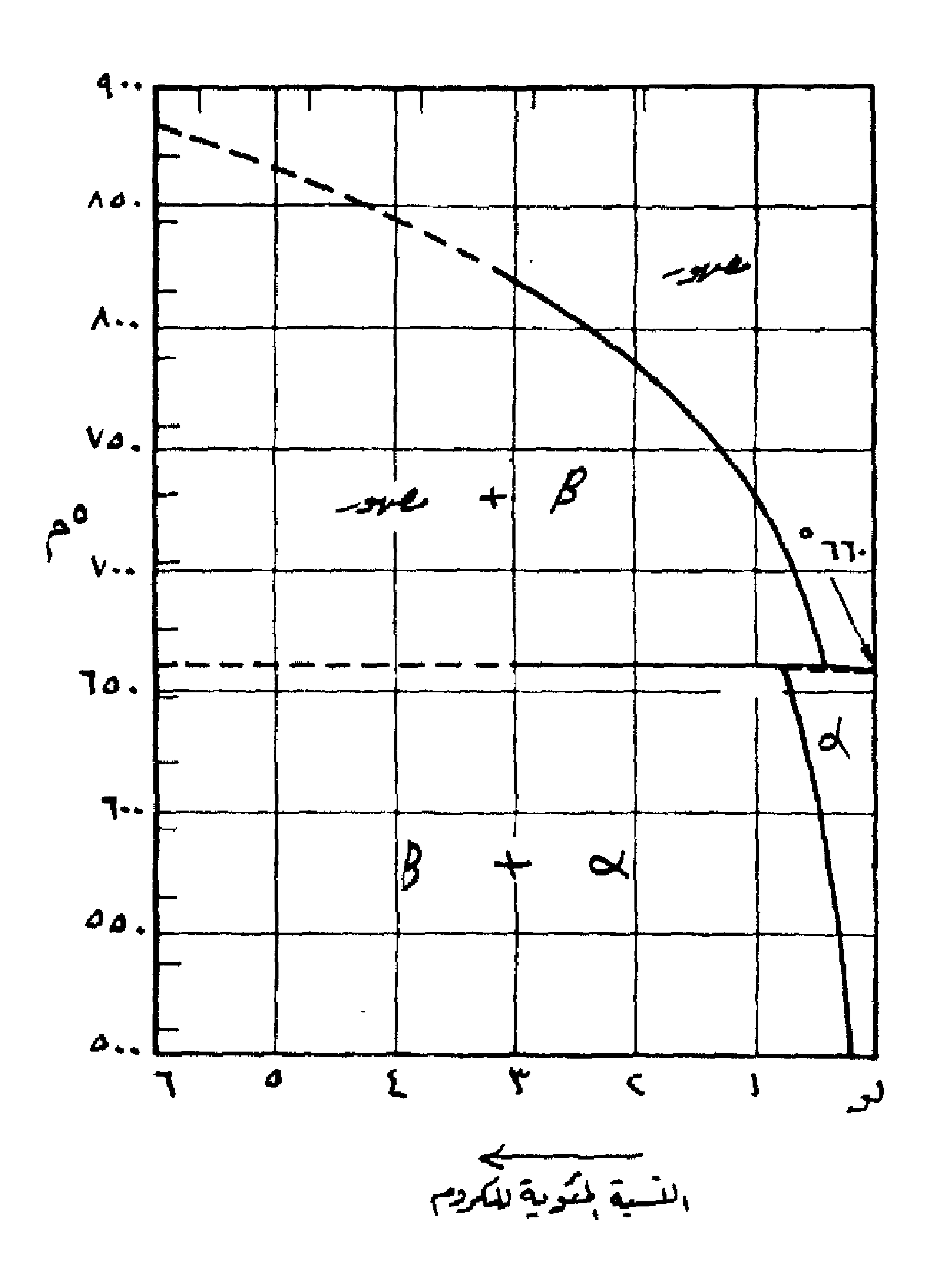


(لو– ق) ألومنيوم – قصدير

لم يتم التوصل إلى قيمة محددة لذائبية عنصر القصدير فى الألومنيوم فى حالة الصلابة . ولكن يمكن القول – بصفة عامة – بأن القصدير شحيح الذوبان فى الألومنيوم فى هذه الحالة .

ومن النتائج التى يؤخذ بها لتذاوب القصدير فى الألومنيوم الآتى :

* ٥,٠٠٪ عند ٥٠٠°م
* بضعة أجزاء من الألف (فى المائة) عند درجة حرارة اليوتكتى (٢٢٩°م) .
* تنعدم ذائبية القصدير فى الألومنيوم عمليا عند درجات الحرارة تحت درجة اليوتكتى .



(لو–كر) ألومنيوم – كروم

يبين الشكل ذلك الجزء من منحنى الاتزان لو – كر الذى تم استقصاؤه بدرجة كافية الصنف B – الذى يوجد فى حالة اتزان مع المحاليل الغنية بالألومنيوم – صيغته كر لو٧ . وجد أن ذلك الصنف يتكون نتيجة تفاعل بريتكتى يتم بين مصهور وصنف جامد غنى بالكروم عند درجة حرارة بين ٧٦٠–٨٠٠°م . ولم يلاحظ هذا التفاعل فى السبائك التى تحتوى حتى ٢٪ من الكروم .

وهناك القليل من سبائك الألومنيوم التى تحتوى على كميات قليلة من الكروم (١و٠ -٣و٠٪). وفى بعض السبائك تحدث إضافة الكروم تحسينا ملحوظا للمقاومة للتآكل الكيميائى .

***

الملحق (٥)

المعاملات الحرارية لبعض سبائك الألومنيوم شائعة الاستعمال

السبيكة	أولا–لتطرية السبيكة بعدالمعاملة الحرارية		ثانيا – لإزالة آثار التشغيل على البارد			
	درجة حرارة التشريب الحرارى (م ٥)	زمن التشريب الحرارى (ساعة)	معدل التبريد	درجة حرارة التشريب الحرارى (م ٥)	زمن التشريب الحرارى (ساعة)	معدل التبريد
ب		لا تعامل حراريا		٣٤٠ ± ٨	½ — ٢	أ أو ب
١ جـ		لا تعامل حراريا		٤٠٠ ± ٨	½ — ٢	أ أو ب
٤ جـ	٤١٠ ± ١٢	٢	ب	٣٤٠ ± ٥	½ — ٢	أ
٦ جـ	٤١٠ ± ١٢	٢	ب	٣٤٠ ± ٥	٢	أ
٨ جـ	٤١٠ ± ١٢	٢	ب	٣٤٠ ± ٥	٢	أ
٨ جـ مكسية بالسبيكة أ	٤١٠ ± ١٢	٢	ب	٣٤٠ ± ٥	٢	أ
١٢ جـ		لا تعامل حراريا		٣٤٠ ± ٥	٢	أ أو ب
٥ جـ	٤١٠ ± ١٢	٢	ب	٣٤٠ ± ٥	٢	أ
١٧ جـ	٣٦٠ ± ١٠	٢	جـ	٣٤٠ ± ٨	٢	جـ
٣ جـ	٤١٠ ± ١٢	٢	ب	١٢٠ ± ٥	٢	أ

معدلات التبريد : (أ) تبريد هوائى

(ب) يبرد الفرن بمعدل ٣٠° م/ساعة حتى ٢٦٠ °م

(ج) تبريد هوائى حتى ٢٣٠° م ثم التشريب الحرارى لمدة ٤ ساعات عند هذه الدرجة من الحرارة .

السبيكة	ثالثا – لتذويب المكونات فى محلول: درجة حرارة التشريب (م °)	ثالثا – لتذويب المكونات فى محلول: التسقية	رابعا – التعتيق (بالإزمان): درجة حرارة التعتيق (م °)	رابعا – التعتيق (بالإزمان): زمن التعتيق (ساعة)
ب		لا تعامل حراريا		لا تعامل حراريا
أ ـ		لا تعامل حراريا		لا تعامل حراريا
٤ ـ	٥٠٠–٥٠٨	ماء بارد (٢)	١٨٢ ± ٣	٥
			١٧٧ ± ٣	٨
			١٧١ ± ٣	١٠
			١٦٠ ± ٣	١٨
٦ ـ	٥٠٠ — ٥١٠	ماء بارد	....	..
٧ ـ	٥١٠ — ٥٢٠	ماء بارد	١٧١ ± ٣	١٠
٨ ـ	٤٩٠ — ٥٢٠	ماء بارد	١٩٠ ± ٣	١٢ أو ٩
٨ ـ مكسية بطبقة أ	٤٩٠ — ٥٠٠	ماء بارد	١٩٠ ± ٣	١٢ أو ٩
٩ ـ	٥١٣ — ٥٢٤	ماء بارد	١٧١ ± ٣	١٢
١٠ ـ	٥١٠ — ٥٢١	ماء بارد	١٧١ ± ٣	١٢
١١ ـ	٥١٥ — ٥٢٦	ماء بارد	١٧٧ ± ٣	٨
١٢ ـ		لا تعامل حراريا		لا تعامل حراريا
٥ ـ	٥٠٠ — ٥١٠	ماء بارد	١٧٧ ± ٣	٨
١٧ ـ (١)	٤٣٢ — ٤٤٨	ماء بارد (٢)	١٥٧ ± ٣	٨
			١٣٥ ± ٣	٢٥
٣ ـ	٥٠٠ — ٥١٠	ماء بارد	....	..

١ – يجب ألا يبدأ الترسيب بالمعاملة الحرارية حتى ٢٤ ساعة على الأقل بعد إتمام تذويب المكونات فى محلول جامد .

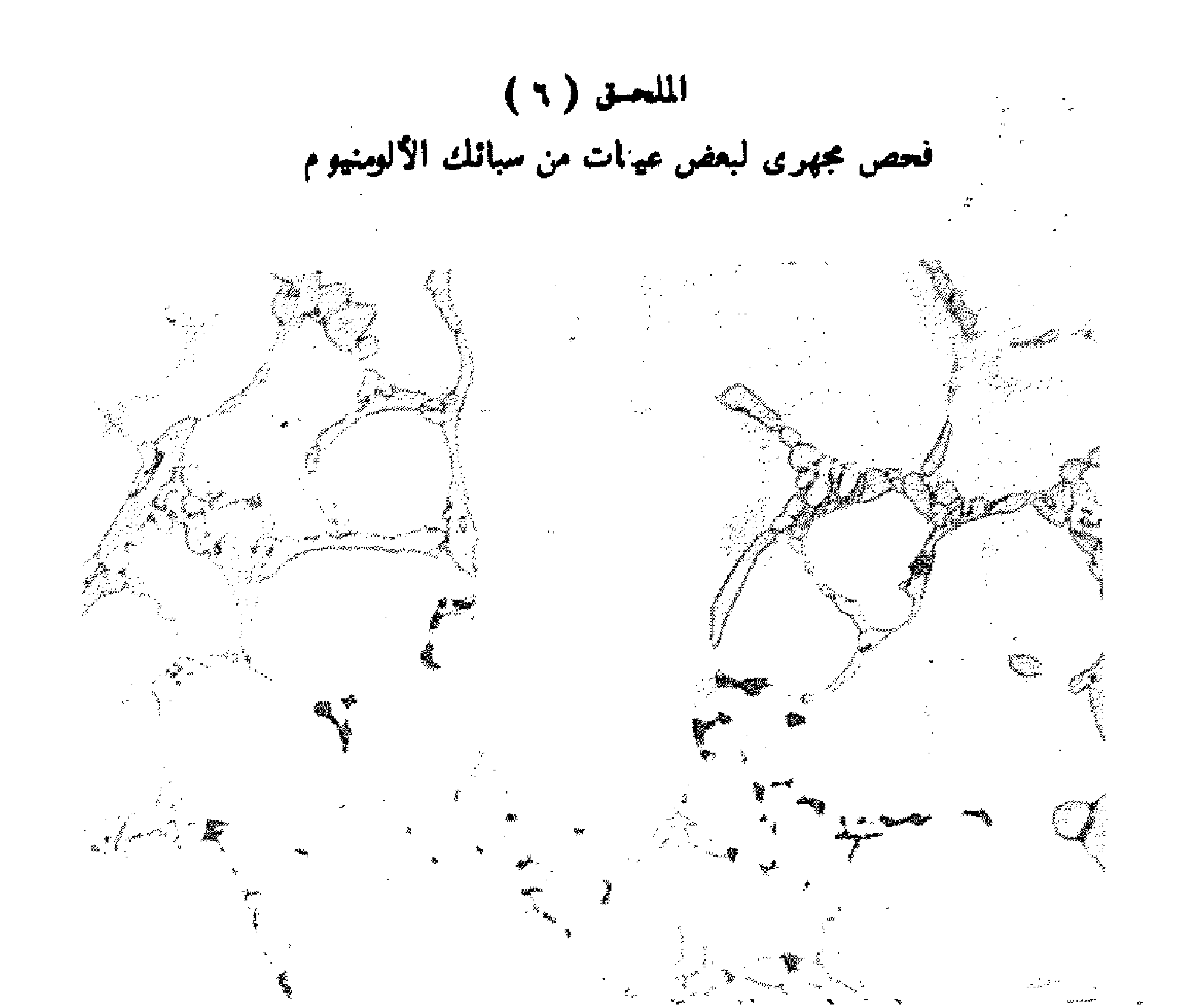
٢ – يستخدم الماء الساخن لتسقية المطروقات الثقيلة .

خامساً – زمن التشريب الحرارى

لتكوين محلول من المكونات لمنتجات السبائك القابلة للتشكيل « باستثناء المطروقات » (الزمن بالدقيقة)					لحصول على محلول من المكونات للمطروقات (الزمن بالساعة)		
السبيكة	السمك حتى ٠,٠٨ سم	السمك ٠,٠٨—٠,٣١٥ سم	السمك ٠,٣١٥—٠,٦٢٥ سم	السمك أكثر من ٠,٦٢٥ سم	السبيكة	السمك حتى ٥ سم	السمك أكثر من ٥ سم
٤ ـ	—	—	٣٠	٦٠	٤ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢
٦ ـ	٢٠	٢٠	٣٠	٦٠	٦ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢
٨ ـ	٢٠	٢٠	٣٠	٦٠	٧ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢
٨ مكسية بسبيكة أ	٣٠	٣٠	٤٠	٦٠	٩ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢
١٣ ـ	٢٠	٣٠	٤٠	٦٠	١٠ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢
١٥ ـ	٢٠	٣٠	٤٠	٦٠	١١ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢
٥ ـ	٢٠	٣٠	٤٠	٦٠	١٣ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢
١٧ ـ	٢٠	٣٠	٤٠	٦٠	١٧ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢
٣ ـ	٢٠	٣٠	٤٠	٦٠	٣ ـ	$\frac{1}{2}$ — ٦	٢ — ١٢

الملحق (٦)

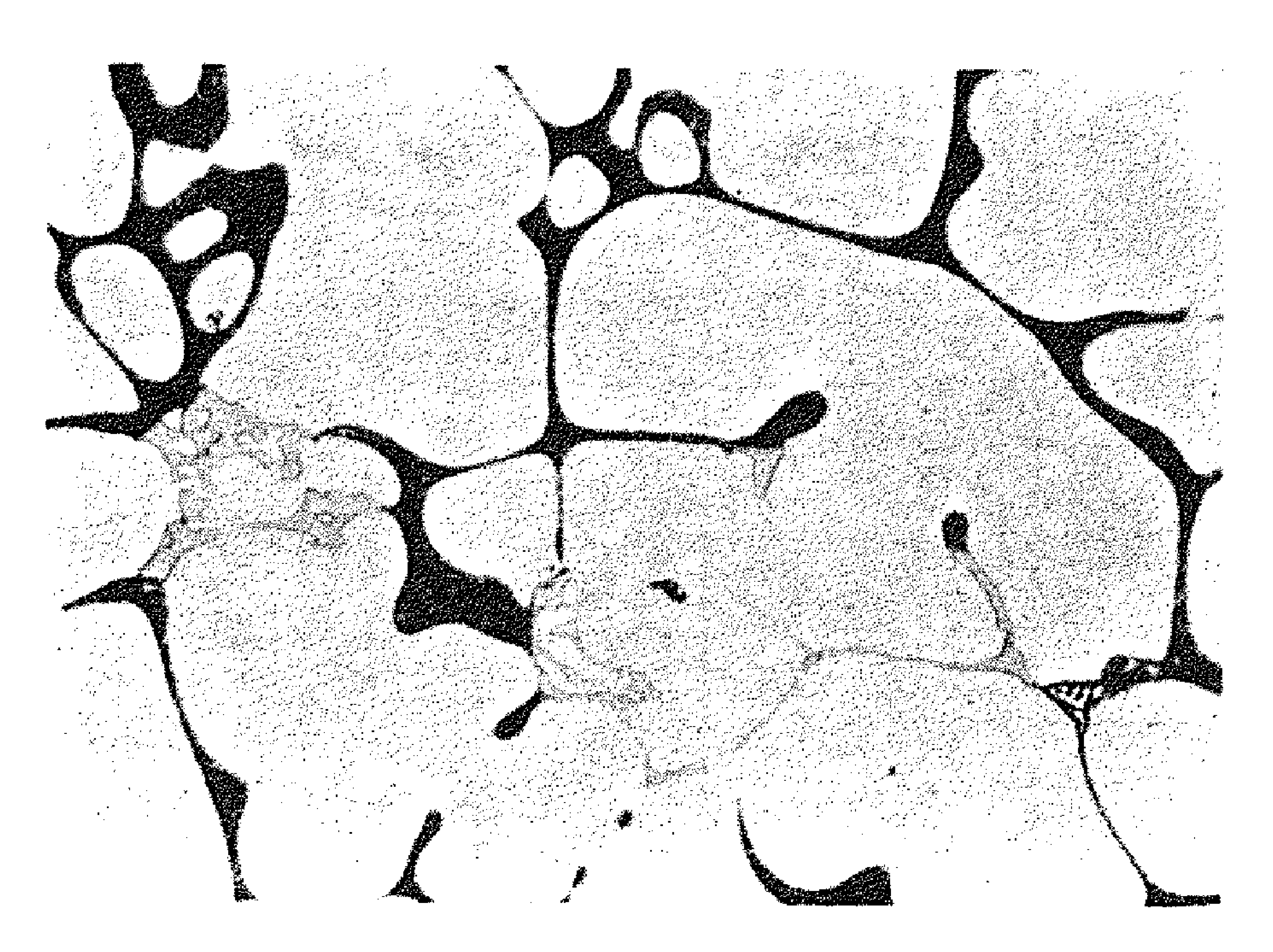
فحص مجهرى لبعض عينات من سبائك الألومنيوم



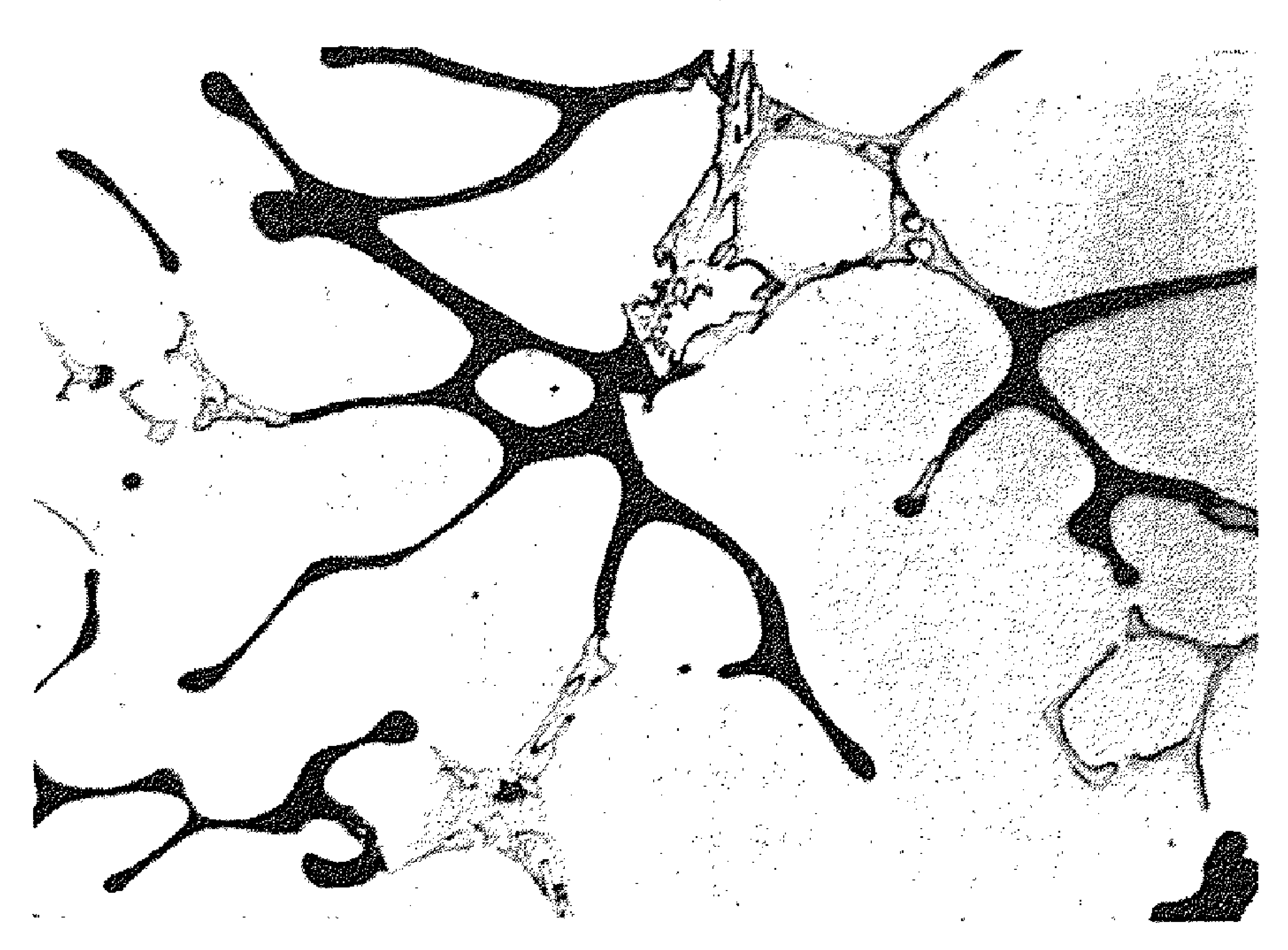
الشكل ١ : تركيب بنيانى يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطريق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٤ حـ ، ويتضح فى العينة المجهرية المكونات المختلفة فى توزيع غير منتظم . (غير منمش) .



الشكل ٢ : تركيب بنيانى يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٤ حـ ، ويتضح فى العينة التوزيع غير المنتظم لمختلف مكوناتها . منمشة بحمض الكبريتيك ٢٠٪ .



الشكل ٣ : تركيب بنيانى يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٨ حـ ، ويتضح فى العينة المكونات المختلفة فى توزيع غير منتظم (غير منمش) .



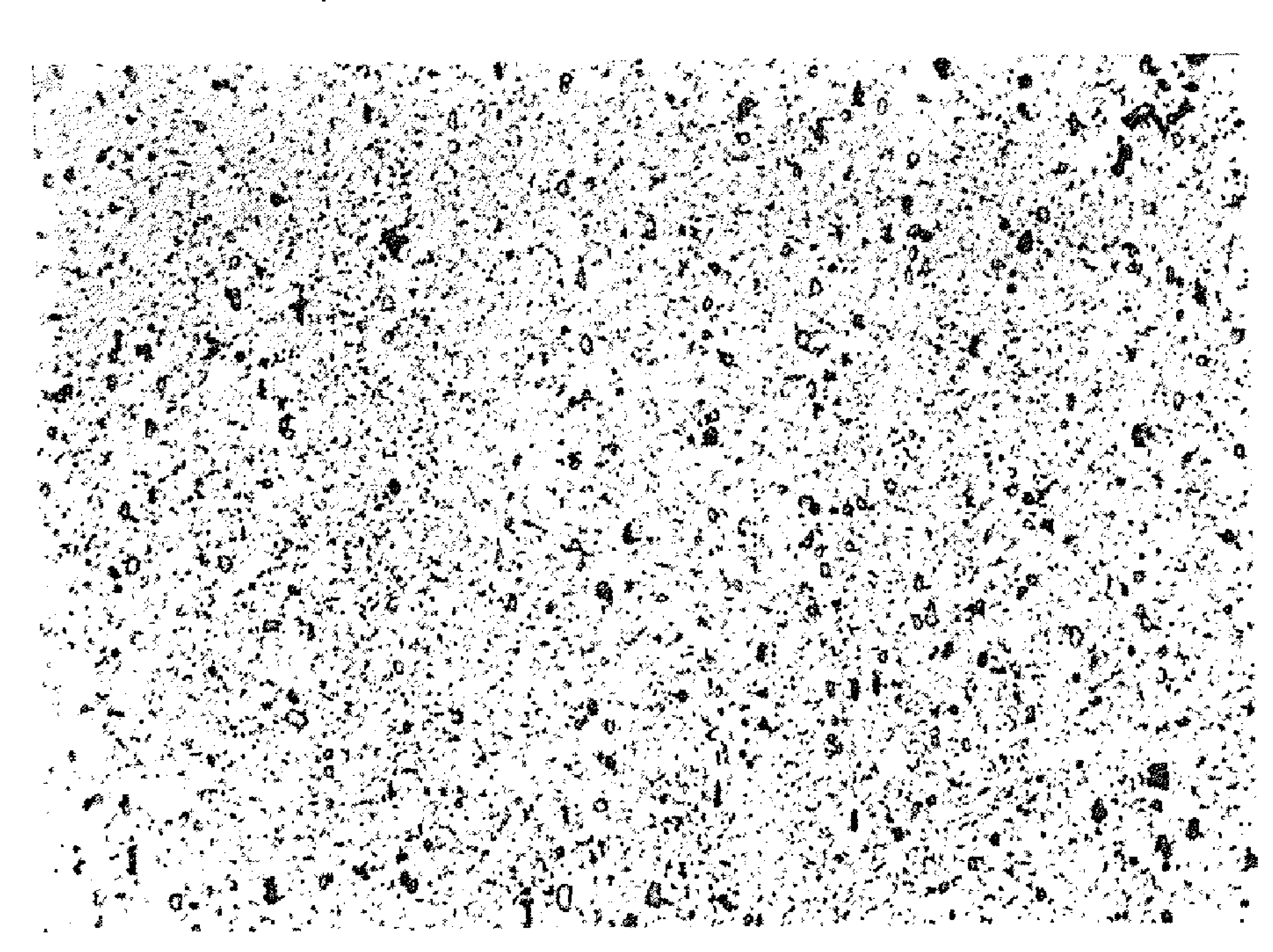
الشكل ٤ : تركيب بنيانى يشبه تركيب المصبوبات (المسبوكات) ، تكون بفعل التبريد السريع بطرق الصب المباشر لسبيكة الألومنيوم ٨ حـ ، ويتضح فى العينة المكونات المختلفة فى توزيع غير منتظم . منمشة بهيدروكسيد الصوديوم ١٠٪ .



الشكل ٥ : التركيب البنيانى لعينة من سبيكة الألومنيوم (ب) بعد درفلتها ، منمشة بحمض الهيدروكلوريك والهيدروفلوريك .



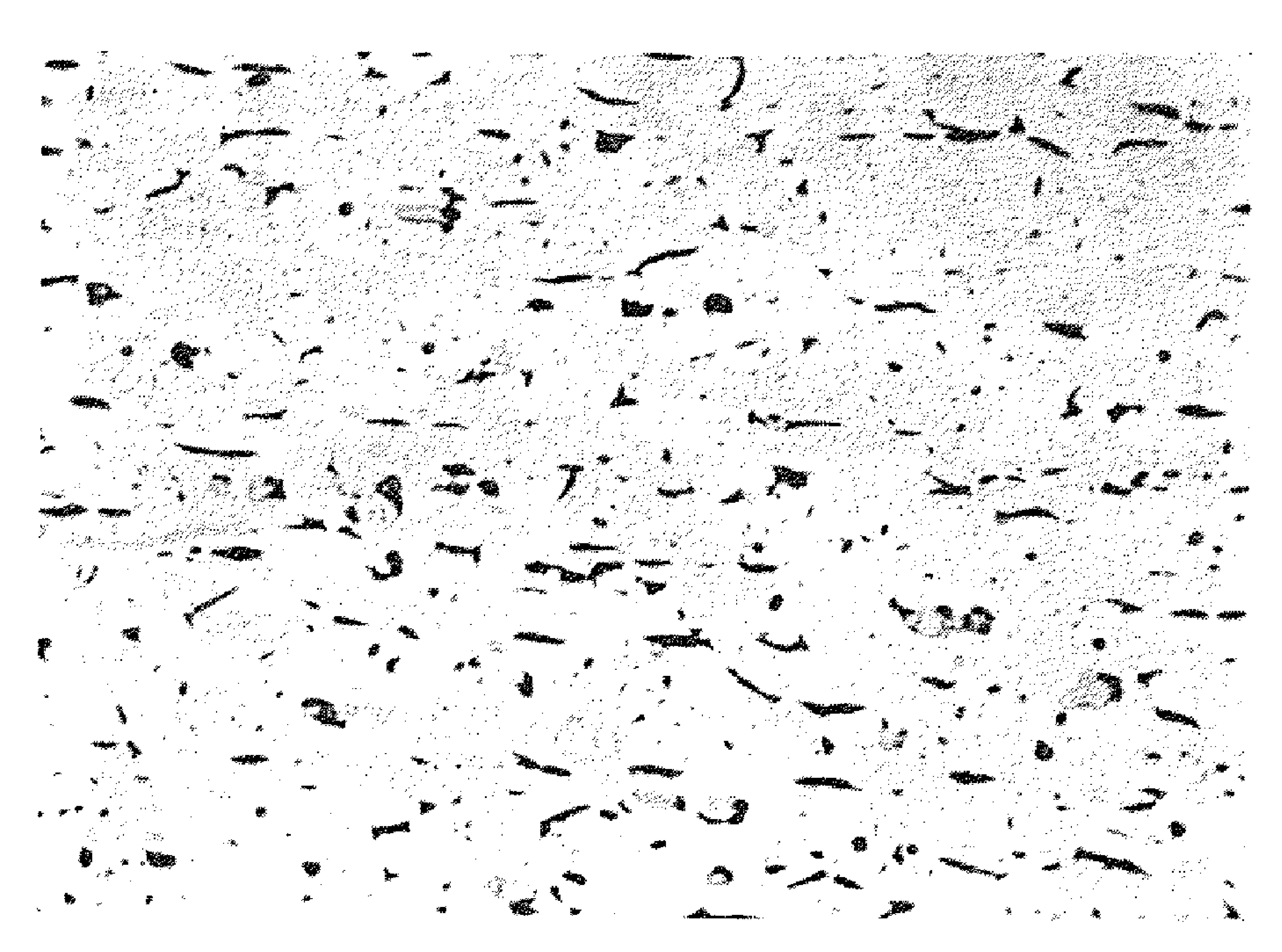
الشكل ٦ : التركيب البنيانى لعينة من سبيكة الألومنيوم (ب) بعد تلدينها (تخميرها) . منمشة بحمض الهيدروكلوريك والهيدروفلوريك .



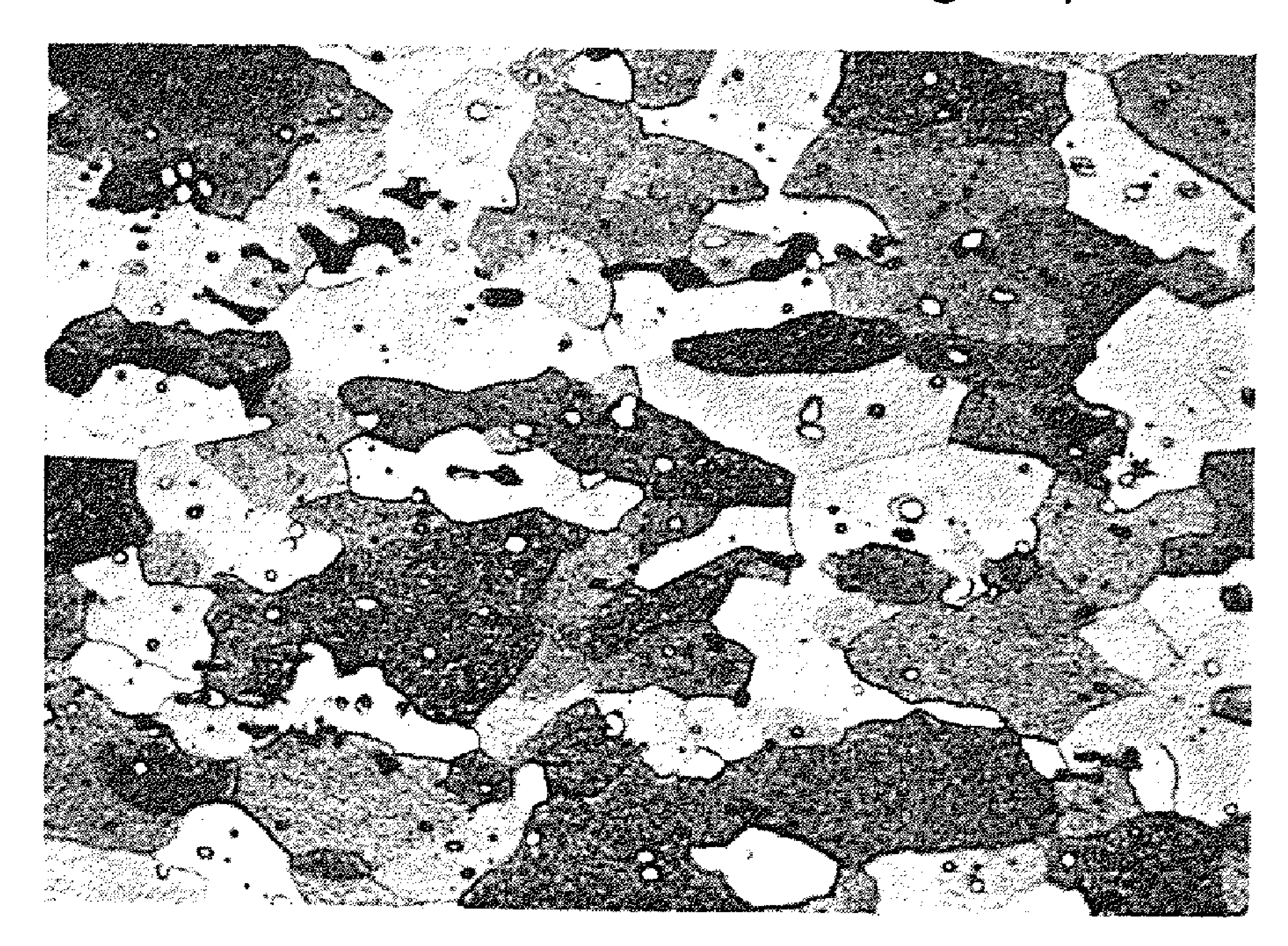
الشكل ٧ : المظهر المجهرى لعينة من سبيكة الألومنيوم ٨ جـ مكسية بطبقة أ وتم تلدينها بطريقة سليمة ، وفى هذه العينة يظهر المكون الدقيق ألومنيد النحاس ، وتوزيعه المنتظم خلال كل المقطع .



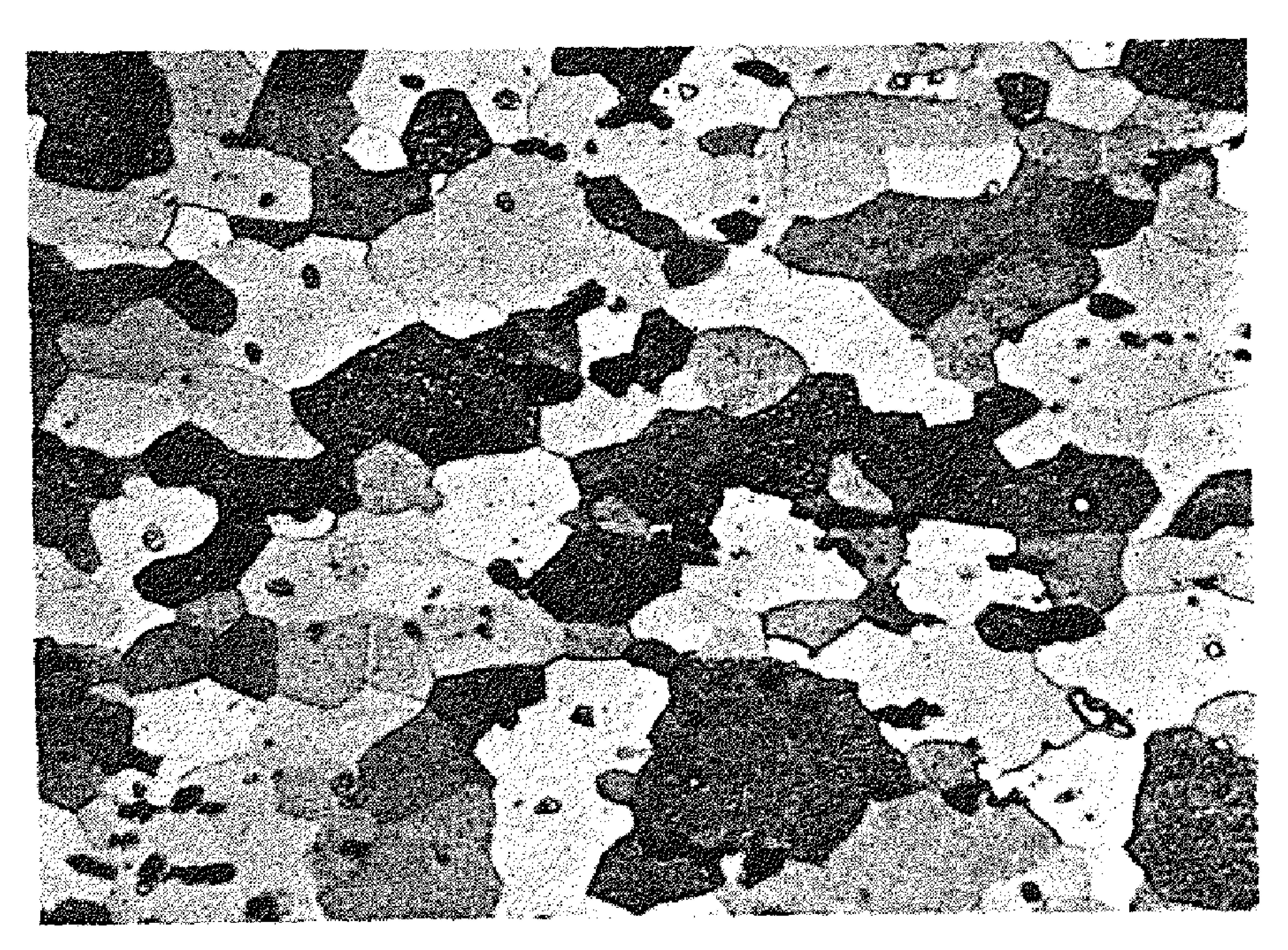
الشكل ٨ : المظهر المجهرى لعينة من سبيكة الألومنيوم ٨ جـ مكسية بطبقة من الألومنيوم النقى ، وتم تلدينها بطريقة غير سليمة ، ويرى بوضوح التوزيع الردئ للمكون الومنيد النحاس . هذا التركيب ينتج عنه خواص تشكيلية غير جيدة .



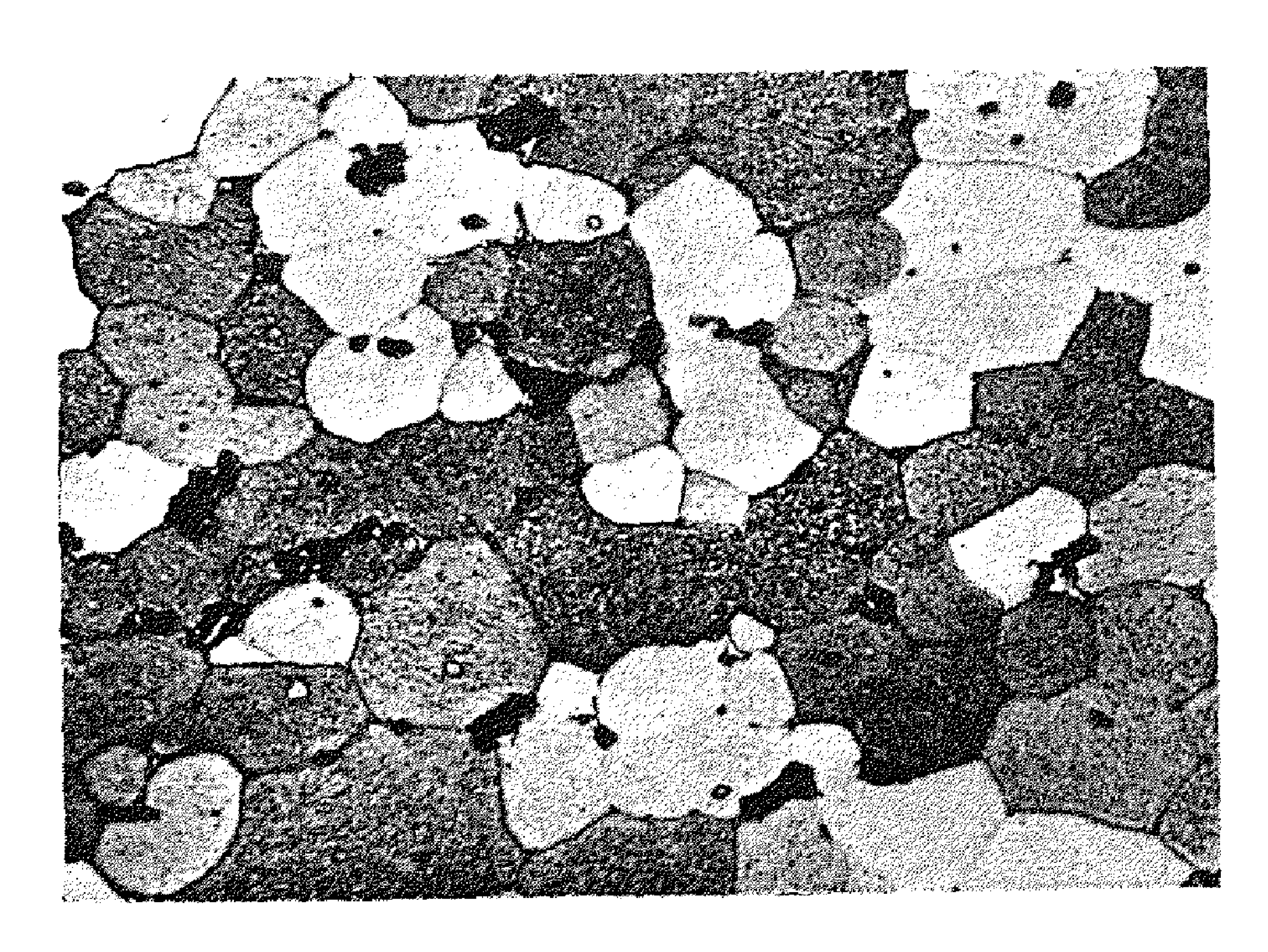
الشكل ٩ : عينة مجهرية لمقطع سبيكة الألومنيوم ٨ ج ، وفيها يتضح الترسيب خلال الحدود الحبيبية (الحدود الفاصلة بين الحبيبات) نتيجة للتسخين لدرجة حرارة عالية ، وتبريد بطىء خلال عملية التلدين . منمشة بحمض الهيدروفلوريك ٠,٥٪ .



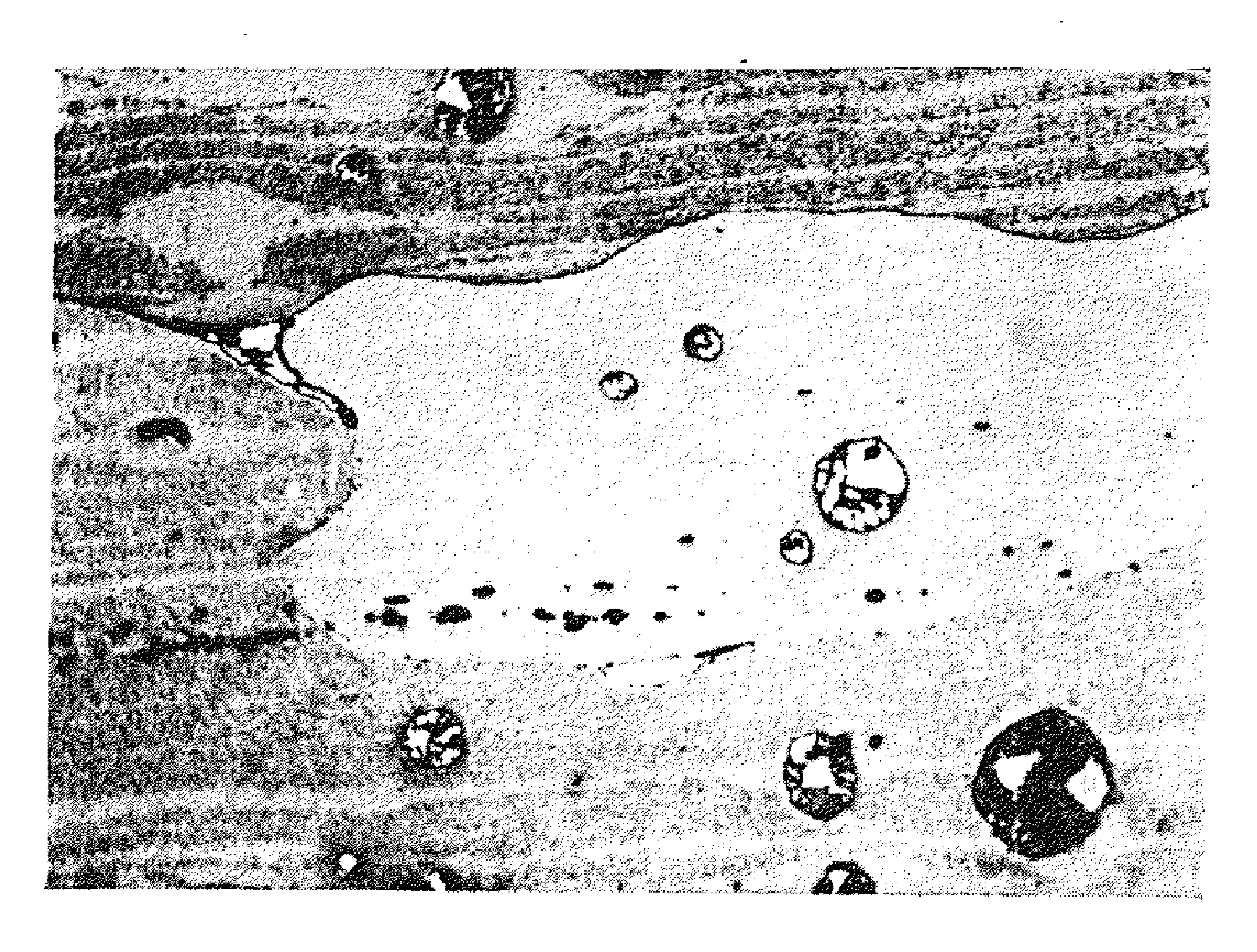
الشكل ١٠ : عينة جهرية توضح التركيب البنيانى لسبيكة الألومنيوم ٥ ح تمت معاملتها حراريا ، ويتضح من العينة عدم تذاوب بعض المكونات (أساسا ألومنيد النحاس) التى تظهر باللون الأبيض خارج المحلول فى العينة المجهرية .



الشكل ١١ : عينة مجهرية لسبيكة ٥ ﺣ ، بتركيب بنياني نمطي ، نتيجة لإجراء المعاملة الحرارية بطريقة سليمة .



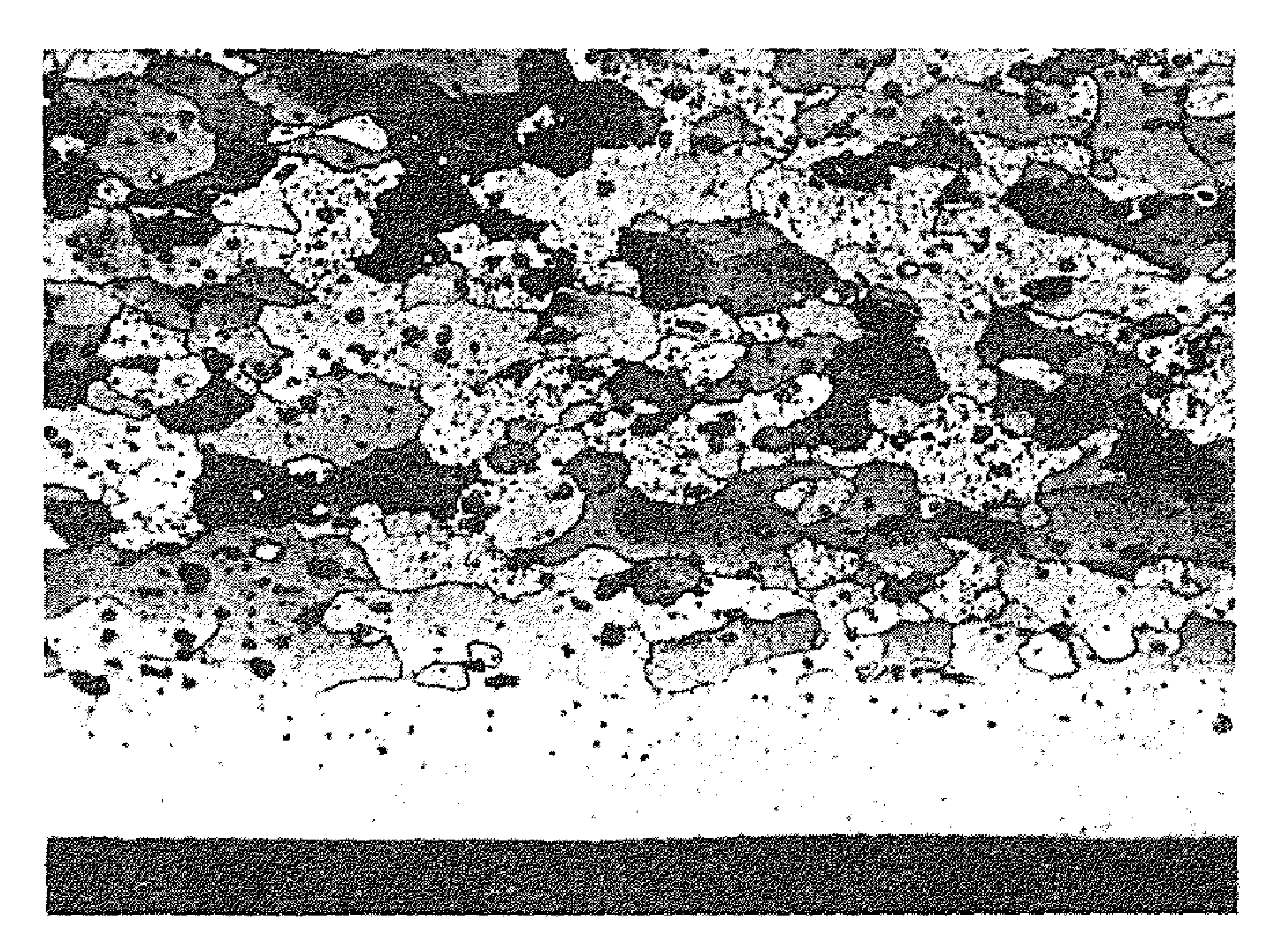
الشكل ١٢ : عينة مجهرية للسبيكة ٥ ﺣ ، يتضح فيها التركيب البنياني نتيجة معاملتها حراريا بطريقة غير سليمة ، ويتضح في العينة بعض المناطق التي تعرضت للانصهار على الحدود الحبيبية نتيجة التعرض لدرجة حرارة عالية .



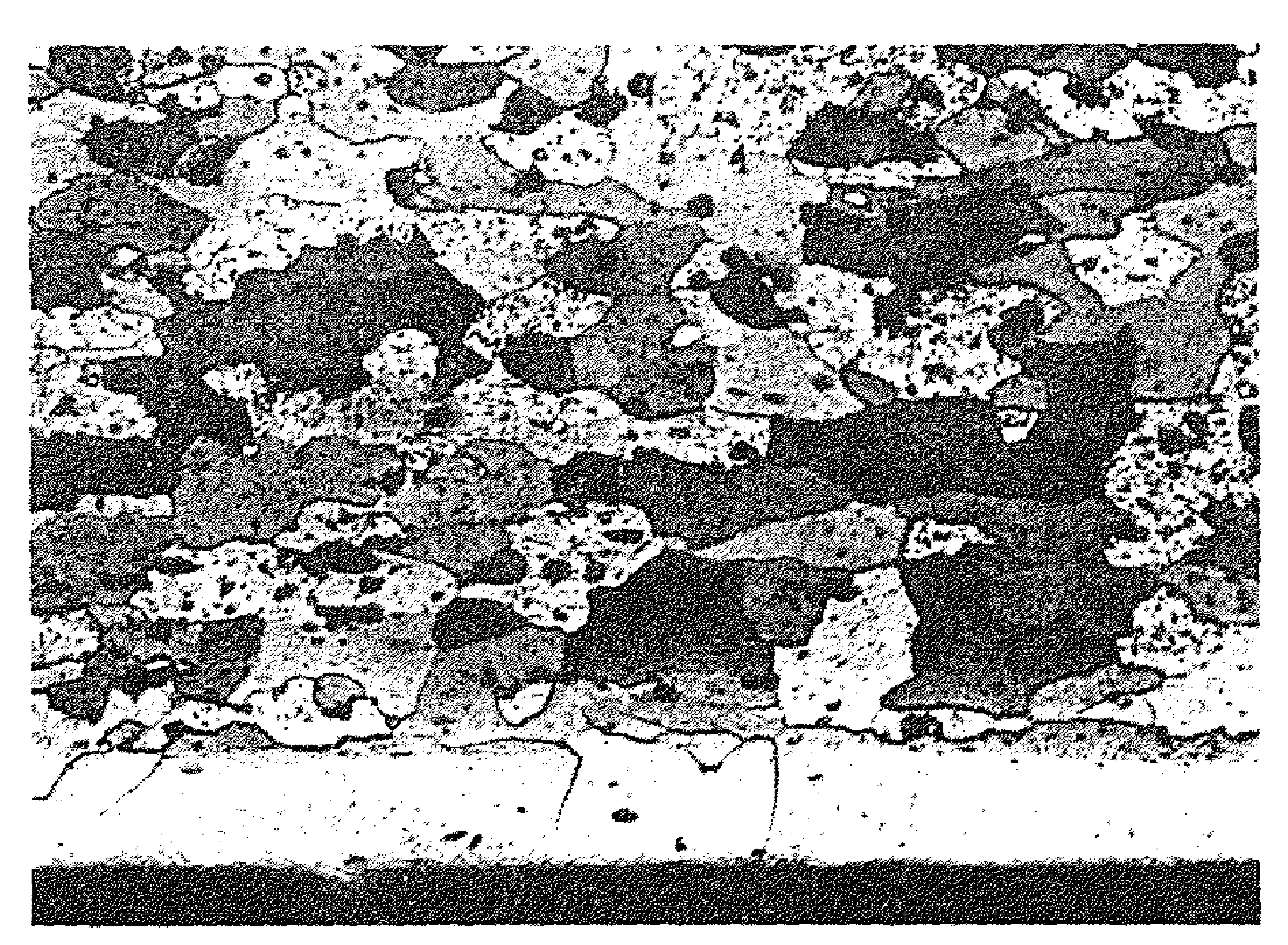
الشكل ١٣ : عينة مجهرية للسبيكة ٥ ح ، عوملت حراريا بطريقة خاطئة ، وفيها يتضح انصهار مناطق اليوتكتى ، وأيضاً خلال الحدود الحبيبية نتيجة التعرض لدرجة حرارة عالية .



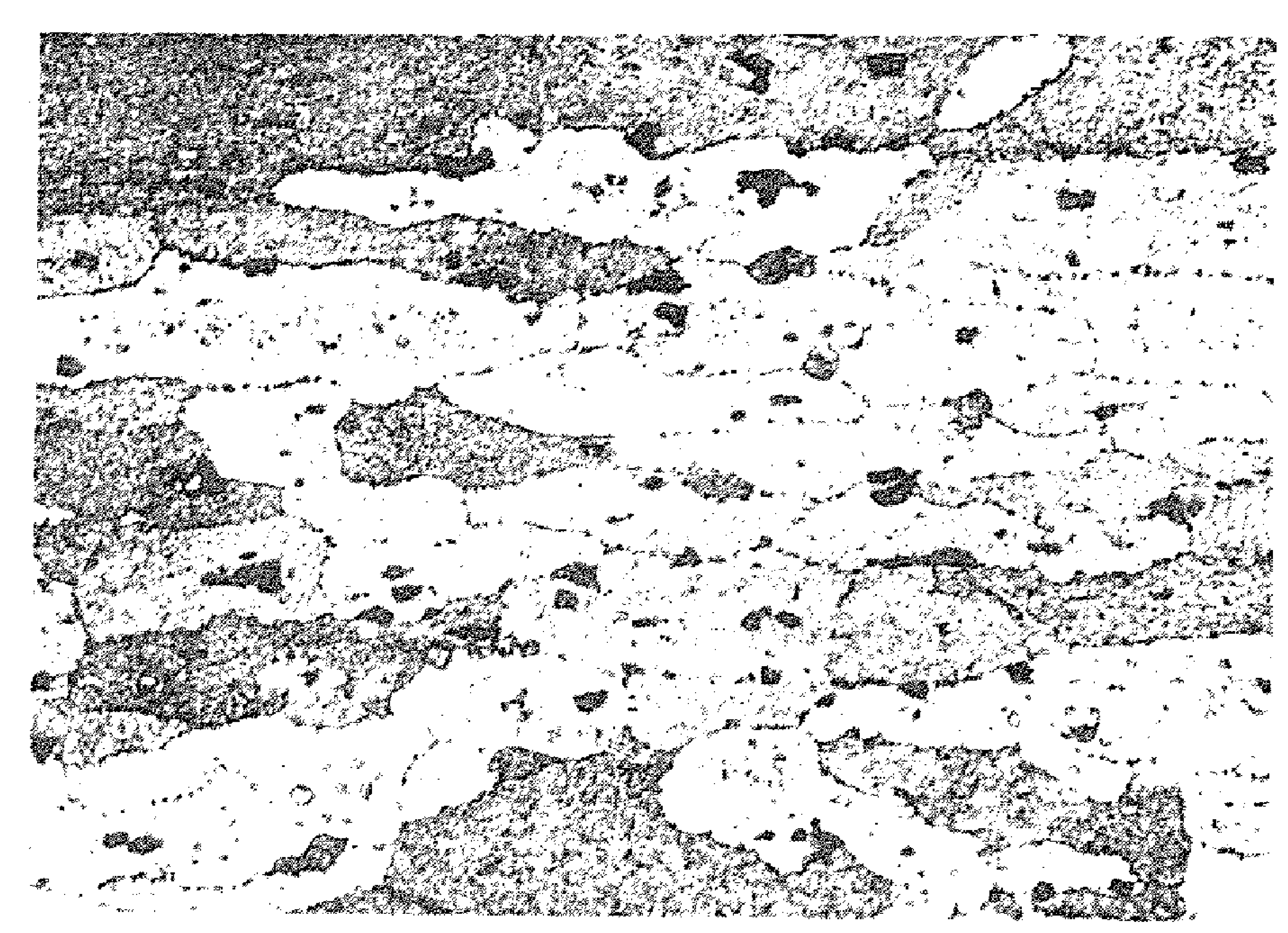
الشكل ١٤ : نفس العينة السابقة (للسبيكة ٥ ح) ، بعد تكبير الجزء الذى يحتوى على مناطق منصهرة نتيجة تعرضها لدرجة حرارة مفرطة أثناء المعاملة الحرارية .



الشكل ١٥ : انتشار كمية عادية من النحاس وغيره من المكونات الأخرى خلال طبقة الألومنيوم التى تكسى بها السبيكة (٨ح) وتم ذلك نتيجة لمعاملة حرارية أجريت بطريقة سليمة.



الشكل ١٦ : انتشار العناصر السبيكية كالنحاس وغيره من المكونات الأخرى ، يبلغ أقصاه خلال طبقة الألومنيوم النقية التى تكسى بها السبيكة ٨ ح .
وتسبب حفظ العينة تحت درجة حرارة المعاملة الحرارية لفتره طويلة فى تكوين هذا التركيب البنيانى غير المرغوب .



الشكل ١٧ : تركيب بنيانى نتج عن تسقية السبيكة ٨ حـ ، بعد إذابة مكوناتها فى محلول متجانس . ويلاحظ فى هذا التركيب اضفاء التباين الشديد فى حجم الحبيبات البلورية له وترسيب المكونات مع الحدود الحبيبية .



الشكل ١٨ : تركيب بنيانى يوضح تأثير المعاملة الحرارية فى فرن جوه غير مناسب ميتالورجيا ، حيث يحتوى على نواتج الاحتراق أو وجود بخار الماء بإفراط . عينة من السبيكة تأثرت بالتأكسد عند درجة حرارة عالية

الملحق (٧)

أوزان القطاعات الأساسية لمنتجات الألومنيوم

فى الجداول التالية ، اتخذت الكثافة ٢,٧ جم/سم^{٣} ، وهى متوسط كثافتى الألومنيوم النقى والألومنيوم النقى تجاريا ، أساسا للأوزان .

ونظرا لوجود تباين فى كثافة سبائك الألومنيوم المختلفة ، نتيجة للتغير فى نوعية وكية الإضافات السبيكية ، مما يؤدى إلى وجود اختلافات فى الأوزان ، لذلك فن المهم الرجوع إلى الجدول التالى الذى يضم السبائك التشكيلية الواردة فى هذا الكتاب ، وهى سبائك المجموعة (جـ) ، وأمام كل سبيكة منها معامل حسابى هو النسبة بين الكثافة تلك السبيكة إلى الكثافة ٢,٧ . وبضرب هذا المعامل فى الوزن المدون بالجداول أى قرين قطاع بعينه ، نحصل على وزن هذا القطاع إذا كان مصنوعا من السبيكة المناظرة . ويتراوح المعامل الحسابى بين ٠,٩٩٣ الذى يناظر الكثافة ٢,٦٨ للسبيكة (١٢ جـ) ، وبين ١,٠٤٤ الذى يناظر الكثافة ٢,٨٢ للسبيكتين (٢جـ) ،(١٧جـ) .

السبيكة	الكثافــة	المعامل الحسابى	السبيكة	الكنافة	المعامل الحسابى
١ جـ	٢,٧٣	١,٠١١	١٠ جـ	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٢ جـ	٢,٨٢	١,٠٤٤	١١ جـ	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٣ جـ	٢,٨١	١,٠٤٠	١٢ جـ	٢,٦٨	٠,٩٩٣
٤ جـ	٢,٨	١,٠٣٧	١٣ جـ	٢,٦٩	٠,٩٩٦
٥ جـ	٢,٧٨	١,٠٢٩	١٤ جـ	٢,٦٤	٠,٩٧٨
٦ جـ	٢,٧٩	١,٠٣٣	١٥ جـ	٢,٧	١,٠٠٠
٧ جـ	٢,٨	١,٠٣٧	١٦ جـ	٢,٨	١,٠٣٧
٨ جـ	٢,٧٧	١,٠٢٦	١٧ جـ	٢,٨٢	١,٠٤٤
٩ جـ	٢,٧٩	١,٠٣٣			

الجدول (أ)

السمك	وزن وحدة المساحات كجم / متر^{٢}	مساحة وحدة الأوزان متر^{٢} / كجم
١ μ	٠,٠٠٢٧	٣٧٠,٤
٢	٠,٠٠٥٤	١٨٥,٢
٣	٠,٠٠٨١	١٢٣,٤٥
٤	,٠١٠٨	٩٢,٦
٥	٠,٠١٣٥	٧٤,٠٨
٦	٠,٠١٦٢	٦١,٧٣
٧	٠,٠١٨٩	٥٢,٩١
٨	٠،٠٢١٦	٤٦,٣٠
٩	٠,٠٢٤٣	٤١,١٥
١٠	٠,٠٢٧٠	٣٧,٠٤
١٢	٠,٠٣٢٤	٣٠,٨٦
١٤	٠,٠٣٧٨	٢٦,٤٦
١٦	٠,٠٤٣٢	٢٣,١٥
١٨	٠,٠٤٨٦	٢٠,٥٨
٢٠	٠,٠٥٤٠	١٨,٥٢
٣٠	٠,٠٨١٠	١٢,٣٥
٤٠	٠,١٠٨٠	٩,٢٦
٥٠	٠,١٣٥٠	٧,٤١
٦٠	٠,١٦٢٠	٦,١٧
٧٠	٠,١٨٩٠	٥,٢٩
٨٠	٠,٢١٦٠	٤,٦٣
٩٠	٠,٢٤٣٠	٤,١٣
١٠٠	٠,٢٧٠٠	٣,٧٠
١٥٠	٠,٤٠٥٠	٢,٤٧
٢٠٠	٠,٥٤٠٠	١,٨٥

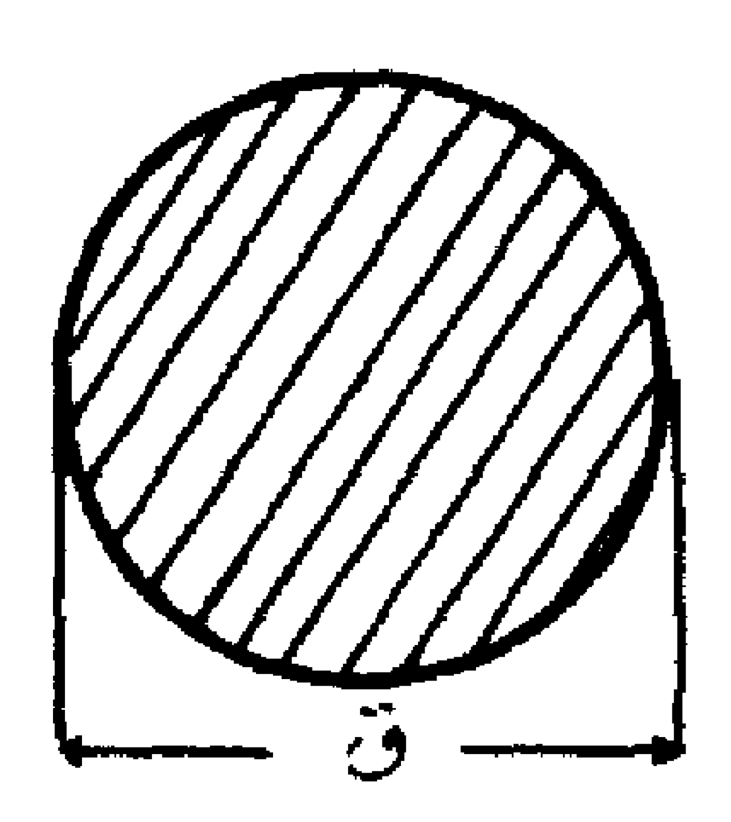
١ سم^{٣} ≡ ٢,٧ جرام
١ جرام ≡ ٠,٣٧٠٤ سم^{٣}

١ – أدرج السمك بوحدات الميكرون μ فى الجدول (أ) والجدول (ب) حتى الخط الأفقى الفاصل ، ثم أدرج فى باقى الجدول (ب) بالمليمترات .

٢ – حسبت المساحة لوحدة الأوزان فى الجدول (أ) بالمتر المربع ، بينما حسبت فى الجدول المربع (ب) بالديسيمتر .

الجدول (ب)

السمك*	وزن وحدة المساحات كجم/متر ٢	مساحة وحدة الأوزان ديسمتر مربع/كجم
٢٥٠	٠,٦٧٥٠٠	١٤٨,١٥
٣٠٠	٠,٨١٠٠	١٢٣,٤٧
٤٠٠	١,٠٨٠٠	٩٢,٦
٥٠٠	١,٣٥٠٠	٧٤,٠٨
٦٠٠	١,٦٢٠٠	٦١,٧٣
٧٠٠	١,٨٩٠٠	٥٢,٩١
٨٠٠	٢,١٦٠٠	٤٦, ٣
٩٠٠	٢,٤٣٠٠	٤١,١٦
١ مليمتر	٢,٧٠٠٠	٣٧,٠٠
٢	٥,٤٠٠٠	١٨,٥٠
٣	٨,١٠٠٠	١٢,٣٥
٤	١٠٠٨٠٠٠	٩,٢٦
٥	١٣,٥٠٠٠	٧,٤١
٦	١٦,٢	٦,١٧
٧	١٨,٩	٥,٢٩
٨	٢١,٦	٤,٦٣
٩	٢٤,٣	٤,١٢
١٠	٢٧,٠	٣,٧
١٢	٣٢,٤	٣,٠٨٦
١٤	٣٧,٨	٢,٦٤٦
١٦	٤٣,٢	٢,٣١٥
١٨	٤٨,٦	٢,٠٥٨
٢٠	٥٤,٠	١,٨٥٢
٢٢	٥٩,٤	١,٦٨٤
٢٤	٦٤,٨	١,٥٤٣



القطر (ق) (م)	مساحة المقطع (م٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
١	٠,٧٨٥	٠,٠٠٢١٢
١,٢	١,١٣١	٠,٠٠٣٠٥
١,٥	١,٧٦٧	٠,٠٠٤٧٧
١,٨	٢,٥٤٥	٠,٠٠٦٨٧
٢	٣,١٤٢	٠,٠٠٨٤٨
٢,١	٣,٤٦٤	٠,٠٠٩٣٥
٢,٢	٣,٨٠١	٠,٠١٠٣
٢,٣	٤,١٥٥	٠,٠١١٢
٢,٤	٤,٥٢٤	٠,٠١٢٢
٢,٥	٤,٩٠٩	٠,٠١٣٣
٢,٦	٥,٣٠٩	٠,٠١٤٣
٢,٧	٥,٧٣٦	٠,٠١٥٥
٢,٨	٦,١٥٨	٠,٠١٦٦
٢,٩	٦,٦٠٥	٠,٠١٧٨
٣	٧,٠٦٩	٠,٠١٩١
٣,٢	٨,٠٤٢	٠,٠٢١٧
٣,٥	٩,٦٢١	٠,٠٢٦٠

(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (م)	مساحة المقطع (م٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
٣,٨	١١,٣٤	٠,٠٣٠٦
٤	١٢,٥٧	٠,٠٣٣٩
٤,٢	١٣,٨٥	٠,٠٣٧٤
٤,٥	١٥,٩٠	٠,٠٤٢٩
٤,٨	١٨,١٠	٠,٠٤٨٩
٥	١٩,٦٣	٠,٠٥٣٠
٥,٥	٢٣,٧٦	٠,٠٦٤١
٦	٢٨,٢٧	٠,٠٧٦٣
٦,٥	٣٣,١٨	٠,٠٨٩٦
٧	٣٨,٤٨	٠,١٠٤
٧,٥	٤٤,١٨	٠,١١٩
٨	٥٠,٢٧	٠,١٣٦
٨,٥	٥٦,٧٥	٠,١٥٣
٩	٦٣,٦٢	٠,١٧٢
٩,٥	٧٠,٨٨	٠,١٩١
١٠	٧٨,٥٤	٠,٢١٢
١٠,٥	٨٦,٥٩	٠,٢٣٤
١١	٩٥,٠٣	٠,٢٥٧
١١,٥	١٠٣,٩	٠,٢٨٠
١٢	١١٣,١	٠,٣٠٥
١٢,٥	١٢٢,٧	٠,٣٣١
١٣	١٣٢,٧	٠,٣٥٨
١٣,٥	١٤٣,١	٠,٣٨٦
١٤	١٥٣,٩	٠,٤١٦
١٤,٥	١٦٥,١	٠,٤٤٦

(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (م)	مساحة المقطع (م٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم / متر)
١٥	١٧٦,٧	٠,٤٧٧
١٥,٥	١٨٨,٧	٠,٥٠٩
١٦	٢٠١,١	٠,٥٤٣
١٦,٥	٢١٣,٨	٠,٥٧٧
١٧	٢٢٧,٠	٠,٦١٣
١٧,٥	٢٤٠,٥	٠,٦٤٩
١٨	٢٥٤,٥	٠,٦٨٧
١٩	٢٨٣,٥	٠,٧٦٦
٢٠	٣١٤,٢	٠,٨٤٨
٢١	٣٤٦,٤	٠,٩٣٥
٢٢	٣٨٠,١	١,٠٣
٢٣	٤١٥,٥	١,١٢
٢٤	٤٥٢,٤	١,٢٢
٢٥	٤٩٠,٩	١,٣٣
٢٦	٥٣٠,٩	١,٤٣
٢٧	٥٧٢,٦	١,٥٥
٢٨	٦١٥,٨	١,٦٦
٢٩	٦٦٠,٥	١,٧٨
٣٠	٧٠٦,٩	١,٩١
٣٢	٨٠٤,٢	٢,١٧
٣٣	٨٥٥,٣	٢,٣١
٣٤	٩٠٧,٩	٢,٤٥
٣٥	٩٦٢,١	٢,٦٠
٣٦	١٠١٨	٢,٧٠
٣٨	١١٣٤	٣,٠٦

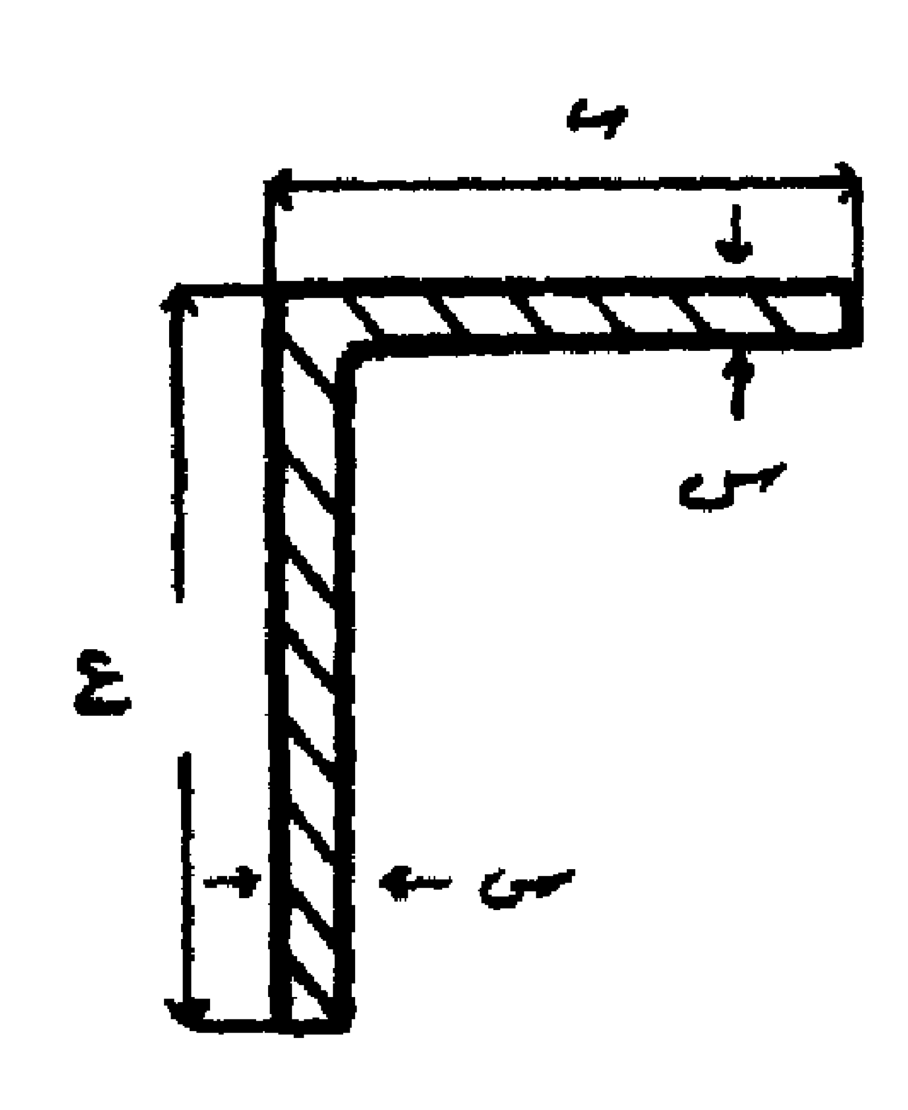
(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (م)	مساحة المقطع ($م^2$)	وزن وحدة الأطوال (كجم/متر)
٣٩	١١٩٥	٣,٢٣
٤٠	١٢٥٧	٣,٣٩
٤٢	١٣٨٥	٣,٧٤
٤٥	١٥٩٠	٤,٢٩
٤٨	١٨١٠	٤,٨٩
٥٠	١٩٦٣	٥,٣٠
٥٢	٢١٢٤	٥,٧٣
٥٥	٢٣٧٦	٦,٤١
٥٦	٢٤٦٣	٦,٦٥
٦٠	٢٨٢٦	٧,٦٣
٦٣	٣١١٦	٨,٤١
٦٧	٣٥٢٤	٩,٥١
٧٠	٣٨٤٦	١٠,٤
٧٥	٤٤١٥	١١,٩
٨٠	٥٠٢٤	١٣,٣
٨٥	٥٦٧٢	١٥,٣
٩٠	٦٣٥٩	١٧,٧
٩٥	٧٠٨٥	١٩,١
١٠٠	٧٨٥٠	٢١,٢
١١٠	٩٥٠٣	٢٥,٧
١٢٠	١١٣١٠	٣٠,٥
١٣٠	١٣٢٧٣	٣٥,٨
١٤٠	١٥٣٩٤	٤١,٦
١٥٠	١٧٦٧٢	٤٧,٧
١٦٠	٢٠١٠٦	٥٤,٣

(تابع) الأسياخ المستديرة

القطر (ق) (م)	مساحة المقطع (م٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/متر)
١٧٠	٢٢٦٩٨	٦١,٣
١٨٠	٢٥٤٤٧	٦٨,٧
١٩٠	٢٨٣٥٣	٧٦,٦
٢٠٠	٣١٤١٦	٨٤,٨
٢١٠	٣٤٦٣٦	٩٣,٥
٢٢٠	٣٨٠١٣	١٠٢,٦
٢٣٠	٤١٥٤٨	١١٢,٢
٢٤٠	٤٥٢٣٩	١٢٢,٢
٢٥٠	٤٩٠٨٧	١٣٢,٥

الزوايا المتساوية وغير المتساوية



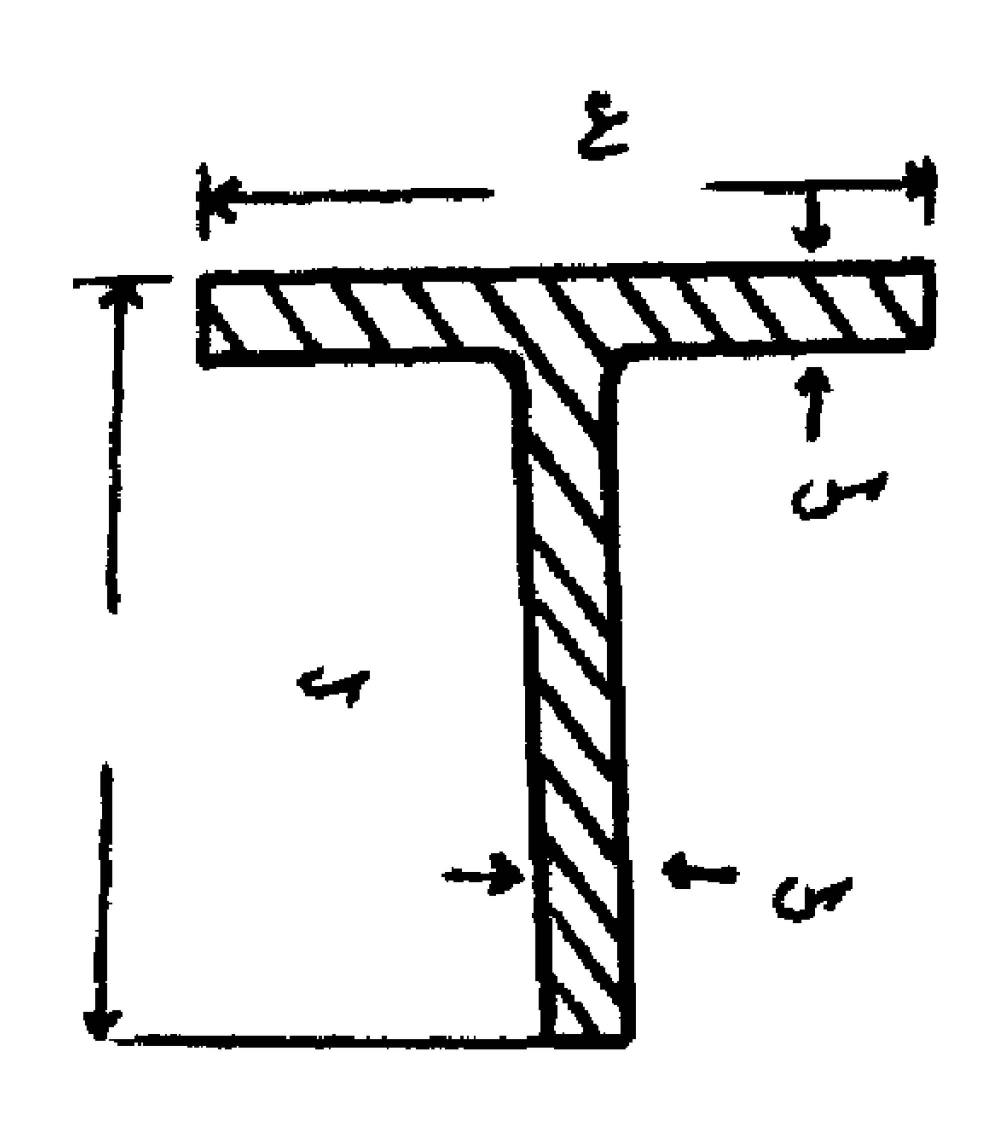
الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
١,٥×١٠×١٠	٠,٢٨٣	٠,٠٧٦٤
٢×١٠×١٠	٠,٣٦٦	٠,٠٩٨٨
٢,٥×١٠×١٠	٠,٤٥١	٠,١٢٢
١,٥×١٠×٢٠	٠,٤٣٣	٠,١٦٦
٢×١٠×٢٠	٠,٥٦٦	٠,١٥٣
٢,٥×١٠×٢٠	٠,٧٠١	٠,١٨٩
١,٥×١٥×١٥	٠,٤٣٣	٠,١١٧
٢×١٥×١٥	٠,٥٦٦	٠,١٥٣
٢,٥×١٥×١٥	٠,٧٠١	٠,١٨٩
١,٥×١٥×٢٠	٠,٥٠٨	٠,١٣٧
٢×١٥×٢٠	٠,٦٦٦	٠,١٨٠
٢,٥×١٥×٢٠	٠,٨٢٦	٠,٢٢٣
٢×١٥×٣٠	٠,٨٦٦	٠,٢٣٤
٢,٥×١٥×٣٠	١,٠٦	٠,٢٩٢
٣×١٥×٣٠	١,٢٧	٠,٣٤٣
٢×٢٠×٢٠	٠,٧٦٦	٠,٢٠٧
٢,٥×٢٠×٢٠	٠,٩٥٣	٠,٢٥٧
٣×٢٠×٢٠	١,١٢	٠,٣٠٢
٢×٢٠×٣٠	٠,٩٦٤	٠,٢٠٦
٢,٥×٢٠×٣٠	١,٢٠	٠,٣٢٤

(تابع) الزوايا المتساوية وغير المتساوية

الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٣×٢٠×٣٠	١,٤٢	٠,٣٨٣
٤×٢٠×٣٠	١,٨٥	٠,٥٠٠
٢×٢٠×٤٠	١,١٦	٠,٣١٤
٢,٥×٢٠×٤٠	١,٤٥	٠,٣٩٢
٣×٢٠×٤٠	١,٧٢	٠,٤٦٤
٤×٢٠×٤٠	٢,٢٥	٠,٦٠٨
٢×٢٥×٢٥	٠,٩٦٦	٠,٢٦١
٢,٥×٢٥×٢٥	١,٢٠	٠,٣٢٤
٣×٢٥×٢٥	١,٤٢	٠,٣٨٣
٢,٥×٢٥×٤٠	١,٥٨	٠,٤٢٧
٣×٢٥×٤٠	١,٨٧	٠,٥٠٥
٤×٢٥×٤٠	٢,٤٥	٠,٦٦٢
٢,٥×٢٥×٥٠	١,٨٣	٠,٤٩٤
٣×٢٥×٥٠	٢,١٧	٠,٥٨٦
٤×٢٥×٥٠	٢,٨٥	٠,٧٧٠
٢,٥×٣٠×٣٠	١,٤٥	٠,٣٩٢
٣×٣٠×٣٠	١,٧٢	٠,٤٦٤
٤×٣٠×٣٠	٢,٢٥	٠,٦٠٨
٣×٣٠×٥٠	٢,٣٢	٠,٦٢٦
٤×٣٠×٥٠	٣,٠٥	٠,٨٢٤
٥×٣٠×٥٠	٣,٧٨	١,٠٢
٣×٣٠×٦٠	٢,٦٢	٠,٧٠٧
٤×٣٠×٦٠	٣,٤٥	٠,٩٣٢
٥×٣٠×٦٠	٤,٢٨	١,١٦
٢,٥×٣٥×٣٥	١,٧٠	٠,٤٥٩
٣×٣٥×٣٥	٢,٠٢	٠,٥٤٥
٤×٣٥×٣٥	٢,٦٥	٠,٧١٦
٥×٣٥×٣٥	٣,٢٨	٠,٨٨٦
٣×٤٠×٤٠	٢,٣٢	٠,٦٢٦
٤×٤٠×٤٠	٣,٠٥	٠,٨٢٤

(تابع) الزوايا المتساوية وغير المتساوية

الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٤٠×٤٠×٥	٣,٧٨	١,٠٢
٦٠×٤٠×٤	٣,٨٥	١,٠٤
٦٠×٤٠×٥	٤,٧٨	١,٢٩
٦٠×٤٠×٦	٥,٦٧	١,٥٣
٨٠×٤٠×٤	٤,٦٥	١,٢٦
٨٠×٤٠×٥	٥,٧٨	١,٥٦
٨٠×٤٠×٦	٦,٨٧	١,٨٥
٥٠×٥٠×٣	٢,٩٥	٠,٧٧٨
٥٠×٥٠×٤	٣,٨٥	١,٠٤
٥٠×٥٠×٥	٤,٧٨	١,٢٩
٥٠×٥٠×٦	٥,٦٧	١,٥٣
٦٥×٥٠×٥	٥,٥٣	١,٤٩
٦٥×٥٠×٧	٧,٦٤	٢,٠٦
١٠٠×٥٠×١٠	١٤,٠٨	٣,٨٠
٦٠×٦٠×٤	٤,٦٥	١,٢٦
٦٠×٦٠×٥	٥,٧٨	١,٥٦
٦٠×٦٠×٦	٦,٨٧	١,٨٥
٨٠×٨٠×٨	١٢,٢٤	٣,٣٠
٨٠×٨٠×١٠	١٥,٠٨	٤,٠٧
٨٠×٨٠×١٢	١٧,٨٤	٤,٨٢
١٢٠×٨٠×١٠	١٩,٠٨	٥,١٥
١٢٠×٨٠×١٢	٢٢,٦٤	٦,١١
١٦٠×٨٠×١٢	٢٧,٤٤	٧,٤١
١٢٠×١٢٠×١١	٢٥,٢٧	٦,٨٢
١٢٠×١٢٠×١٤	٢٩,٥٩	٧,٩٩
١٥٠×١٥٠×١٤	٤٠,١٢	١٠,٨٣

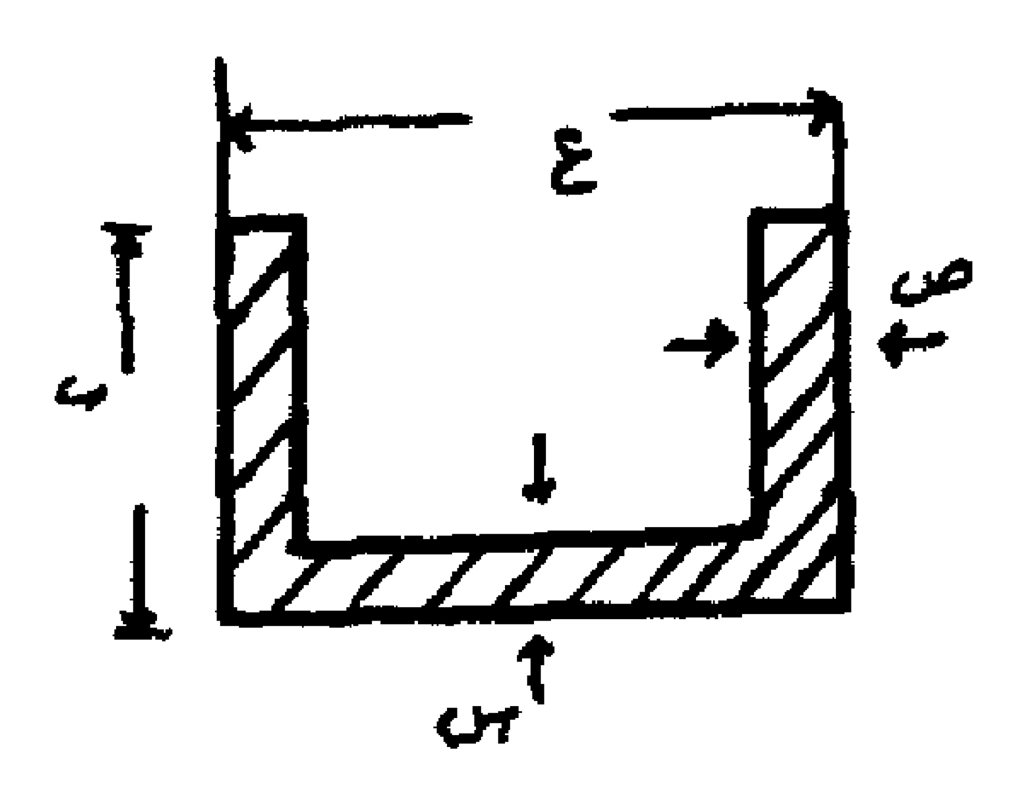


الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٢٠×٣٠×٢	٠,٩٦٩	٠,٢٦٢
٢٠×٣٠×٢,٥	١,٢١	٠,٣٢٧
٢٠×٣٠×٣	١,٤٤	٠,٣٨٩
٢٥×٤٠×٢	١,٢٧	٠,٣٤٣
٢٥×٤٠×٢,٥	١,٥٩	٠,٤٢٩
٢٥×٤٠×٣	١,٨٩	٠,٥١٠
٣٠×٣٠×٢	١,١٧	٠,٣١٦
٣٠×٣٠×٢,٥	١,٤٦	٠,٣٩٤
٣٠×٣٠×٣	١,٧٤	٠,٤٧٠
٣٠×٣٠×٤	٢,٢٧	٠,٦١٣
٣٠×٤٥×٢,٥	١,٨٤	٠,٤٩٧
٣٠×٤٥×٣	٢,١٩	٠,٥٩١
٣٠×٤٥×٤	٢,٨٧	٠,٧٧٥
٣٠×٦٠×٣	٢,٦٤	٠,٧١٣
٣٠×٦٠×٥	٤,٣٢	١,١٧
٣٥×٣٥×٢,٥	١,٧١	٠,٤٦٢
٣٥×٣٥×٣	٢,٠٤	٠,٥٥١
٣٥×٣٥×٤	٢,٦٧	٠,٧٢١
٣٥×٥٠×٣	٢,٤٩	٠,٦٧٢
٣٥×٥٠×٤	٣,٢٧	٠,٨٨٣

(تابع) القضبان

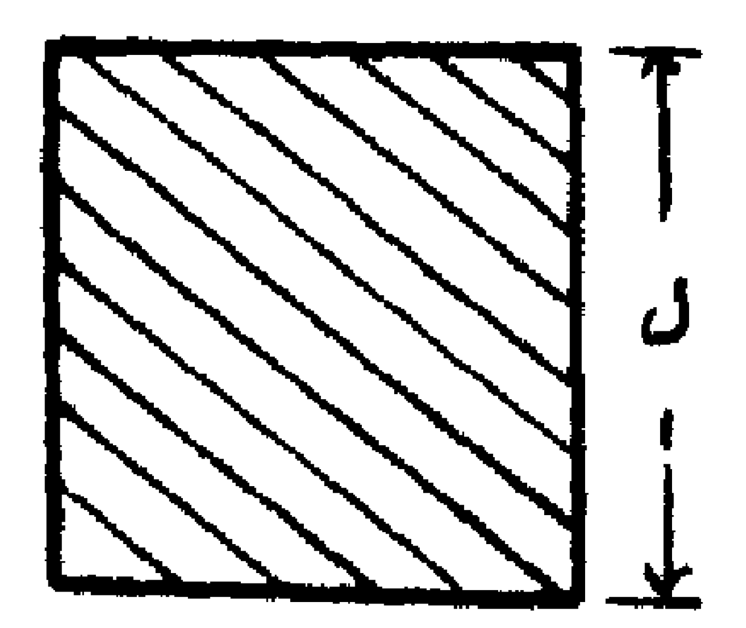
الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س	مساحة المقطع (سم٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٥×٥٠×٣٥	٤,٠٧	١,١٠
٣×٤٠×٤٠	٢,٣٤	٠,٦٣٢
٤×٤٠×٤٠	٣,٠٧	٠,٨٢٩
٥×٤٠×٤٠	٣,٨٢	١,٠٣
٤×٦٠×٤٠	٣,٨٧	١,٠٤
٥×٦٠×٤٠	٤,٨٢	١,٣٠
٥×٨٠×٤٠	٥,٨٢	١,٥٧
٧×٨٠×٤٠	٨,٠٧	٢,١٨
٣×٥٠×٥٠	٢,٩٤	٠,٧٩٤
٤×٥٠×٥٠	٣,٨٧	١,٠٤
٥×٥٠×٥٠	٤,٨٢	١,٣٠
٦×٥٠×٥٠	٥,٧١	١,٥٤
٤×٧٠×٥٠	٤,٦٧	١,٢٦
٥×٧٠×٥٠	٥,٨٢	١,٥٧
٦×٧٠×٥٠	٦,٩١	١,٨٧
٧×١٠٠×٥٠	١٠,١٧	٢,٧٥
٩×١٠٠×٥٠	١٢,٨٥	٣,٤٧
٤×٦٠×٦٠	٤,٦٧	١,٢٦
٥×٦٠×٦٠	٥,٨٢	١,٥٧
٦×٦٠×٦٠	٦,٩١	١,٨٧
٧×٦٠×٦٠	٨٠,٧	٢,١٨
٨×١٢٠×٦٠	١٣,٩٢	٣,٧٦
١٠×١٢٠×٦٠	١٧,١٦	٤,٦٣
٦×٧٠×٧٠	٨,١١	٢,١٩
٨×٧٠×٧٠	١٠,٧٢	٢,٨٩
١٠×١٤٠×٧٠	٢٠,١٦	٥,٤٤
١٢×١٤٠×٧٠	٢٣,٩٢	٦,٤٦
٧×٨٠×٨٠	١٠,٨٧	٢,٩٤
٩×٨٠×٨٠	١٣,٧٥	٣,٧١
١٣×١٦٠×٨٠	٢٩,٦٧	٨,٠١
١٥×١٦٠×٨٠	٣٣,٩١	٩,١٠٦
٩×١٠٠×١٠٠	١٧,٣٥	٤,٦٩
١١×١٠٠×١٠٠	٢٠,٩٥	٥,٦٦

القضبان ⊔ (كرجرى)



الأبعاد (بالمليمتر) ع×ب×س×ص	مساحة المقطع (سم٢)	وزن وحدة الأطـوال (كجم/م)
٤٠×٢٠×٢×٢	١,٥٣	٠,٤١٣
٤٠×٢٠×٣×٣	٢,٢٥	٠,٦٠٨
٤٠×٣٠×٣×٣	٢,٨٥	٠,٧٧٠
٤٠×٣٠×٤×٤	٣,٧١	١,٠٠٠
٤٠×٤٠×٤×٤	٤,٥١	١,٢٢
٤٠×٤٠×٥×٥	٥,٥٧	١,٥٠
٥٠×٣٠×٣×٣	٣,١٥	٠,٨٥١
٥٠×٣٠×٤×٤	٤,١١	١,١١
٥٠×٤٠×٤×٤	٤,٩١	١,٣٣
٥٠×٤٠×٥×٥	٦,٠٧	١,٦٤
٦٠×٣٠×٤×٤	٤,٥١	١,٢٢
٦٠×٣٠×٥×٥	٥,٥٧	١,٥٠
٦٠×٤٠×٤×٤	٥,٣١	١,٤٣
٦٠×٤٠×٥×٥	٦,٥٧	١,٧٧
٨٠×٤٠×٦×٦	٨,٩٥	٢,٤٢
٨٠×٤٥×٦×٨	١١,٢	٣,٠٢
١٠٠×٤٠×٦×٦	١٠,١	٢,٧٤
١٠٠×٥٠×٦×٩	١٤,١	٣,٨٠
١٢٠×٥٥×٧×٩	١٧,٢	٤,٦٤
١٤٠×٦٠×٧×١٠	٢٠,٦	٥,٥٥
١٦٠×٦٥×٨×١١	٢٥,٥	٦,٨٩
١٨٠×٧٠×٨×١١	٢٨,٢	٧,٦١
٢٠٠×٧٥×٩×١٢	٣٤,٠	٩,١٨

الأسياخ المربعة

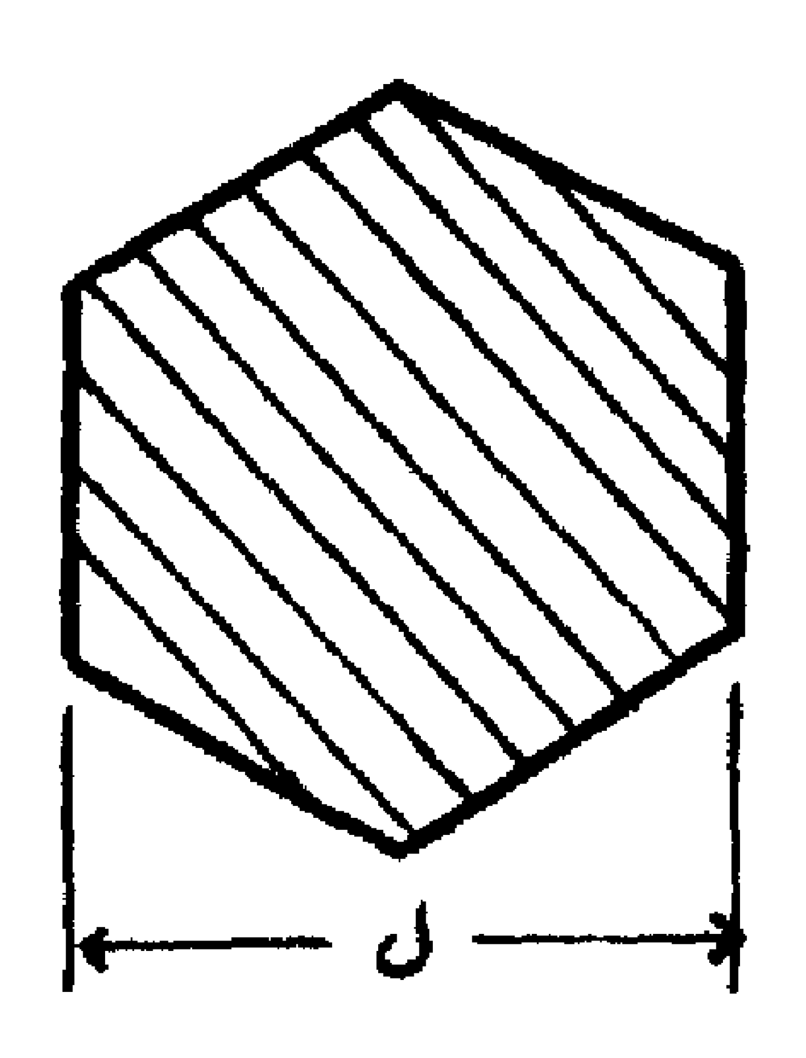


طول الضلع ل (م)	مساحة المقطع ل^{٢} (م^{٢})	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٢	٤	٠,٠١٠٨
٣	٩	٠,٠٢٤٣
٣,٥	١٢,٢٥	٠,٠٣٣١
٤	١٦	٠,٠٤٣٢
٤,٥	٢٠,٢٥	٠,٠٥٤٧
٥	٢٥	٠,٠٦٧٥
٥,٥	٣٠,٢٥	٠,٠٨١٧
٦	٣٦	٠,٠٩٧٢
٧	٤٩	٠,١٣٢
٨	٦٤	٠,١٧٣
٩	٨١	٠,٢١٩
١٠	١٠٠	٠,٢٧٠
١١	١٢١	٠,٣٢٧
١٢	١٤٤	٠,٣٨٩
١٤	١٩٦	٠,٥٢٩
١٥	٢٢٥	٠,٦٠٨
١٦	٢٥٦	٠,٦٩١

(تابع) الأسياخ المربعة

طول الضلع ل (م)	مساحة المقطع ل٢ (م٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
١٧	٢٨٩	٠,٧٨٠
١٨	٣٢٤	٠,٨٧٥
١٩	٣٦١	٠,٩٧٥
٢٠	٤٠٠	١,٠٨
٢٢	٤٨٤	١,٣١
٢٤	٥٧٦	١,٥٦
٢٦	٦٧٦	١,٨٨
٢٧	٧٢٩	١.٩٧
٢٨	٧٨٤	٢,١٢
٣٠	٩٠٠	٢,٤٣
٣٢	١٠٢٤	٢,٧٦
٣٦	١٢٩٦	٣,٥٠
٤١	١٦٨١	٤,٥٤
٤٦	٢١١٦	٥,٧١
٥٠	٢٥٠٠	٦,٧٥
٥٥	٣٠٢٥	٨,١٧
٦٠	٣٦٠٠	٩,٧٢

الأسياخ المسدسة

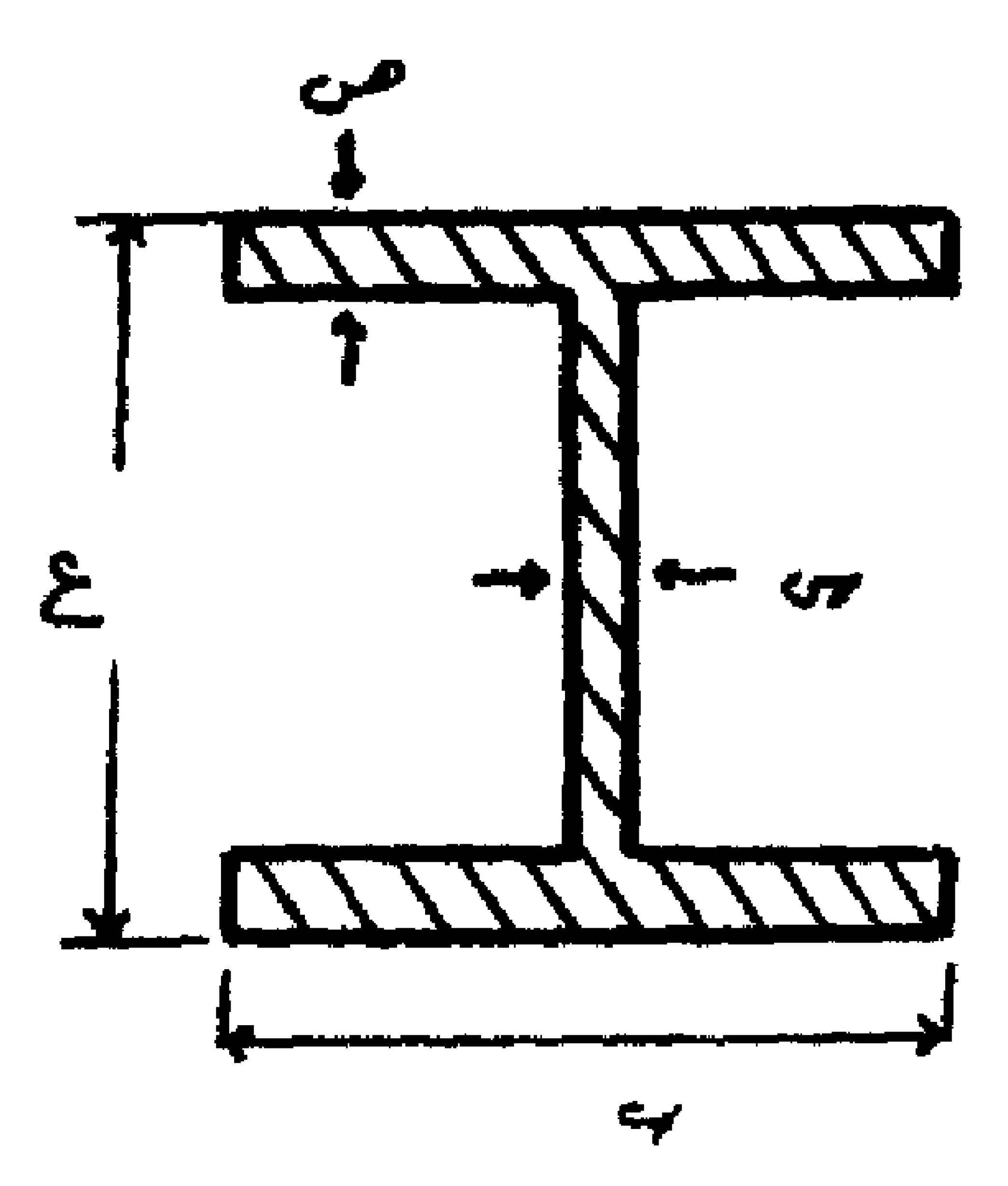


البعد ل (م)	مساحة المقطع (م^{٢})	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
٣	٧,٧٩٤	٠,٠٢١٠
٣,٥	١٠,٦١	٠,٠٣٨٦
٤	١٣,٨٦	٠,٠٣٧٤
٤,٥	١٧,٥٤	٠,٠٤٧٣
٥	٢١,٦٥	٠,٠٥٨٥
٥,٥	٢٦,٢٠	٠,٠٧٠٧
٦	٣١,١٨	٠,٠٨٤٢
٧	٤٢,٤٤	٠,١١٥
٨	٥٥,٤٣	٠,١٥٠
٩	٧٠,١٥	٠,١٨٩
١٠	٨٦,٦٠	٠,٢٣٤
١١	١٠٤,٨	٠,٢٨٣
١٢	١٢٤,٧	٠,٣٣٧
١٤	١٦٩,٧	٠,٤٥٨

(تابع) الأسياخ المسدسة

البعد ل (م)	مساحة المقطع (م٢)	وزن وحدة الأطوال (كجم/م)
١٧	٢٥٠,٣	٠,٦٧٦
١٩	٣١٢,٦	٠,٨٤٤
٢٢	٤١٩,٢	١,١٣
٢٤	٤٩٨,٨	١,٣٥
٢٧	٦٣١,٣	١,٧٠
٣٠	٧٧٩,٤	٢,١٠
٣٢	٨٨٦,٨	٢,٣٩
٣٦	١١٢٢	٣,٠٣
٤١	١٤٥٦	٣,٩٣
٤٦	١٨٣٣	٤,٩٥
٥٠	٢١٦٥	٥,٨٥
٥٥	٢٦٢٠	٧,٠٧
٦٠	٣١١٨	٨,٤٢

كمرات على شكل I (كمر عادة)



الأبعاد (بالمليمتر) ع × ب × س × ص	مساحة المقطع (سم^{2})	وزن وحدة الأطوال (كجم / م)
٣×٣×٤٠×٤٠	٣,٤٧	٠,٩٣٧
٤×٤×٤٠×٤٠	٤,٥٣	١,٢٢
٣×٣×٤٥×٤٥	٣,٩٢	١,٠٦
٤×٤×٤٥×٤٥	٥,١٣	١,٣٩
٥×٤×٤٥×٤٥	٥,٩٥	١,٦١
٣×٣×٥٠×٥٠	٤,٣٧	١,١٨
٤×٤×٥٠×٥٠	٥,٧٣	١,٥٥
٦×٤×٥٠×٥٠	٧,٦٦	٢,٠١
٣×٣×٥٠×٦٠	٤,٦٧	١,٢٦
٤×٤×٥٠×٦٠	٦,١٣	١,٦٦
٤×٤×٦٠×٦٠	٦,٩٣	١,٨٧
٦×٤×٦٠×٦٠	٩,٢٦	٢,٥٠
٦×٤×٤٢×٨٠	٧,٩٠	٢,١٣
٦×٥×٦٠×٨٠	١٠,٧٤	٢,٩٠
٧×٥×٥٠×١٠٠	١١,٤٤	٣,٠٩
٧×٦×٧٠×١٠٠	١٥,٢٧	٤,١٢
٨×٥×٥٨×١٢٠	١٤,٧٩	٣,٩٩
٩×٧×٨٠×١٢٠	٢١,٨٥	٥,٩٠
٩×٦×٦٦×١٤٠	١٩,٥١	٥,٢٧
١٠×٨×٩٠×١٤٠	٢٧,٩١	٧,٥٤
١٠×٧×٧٤×١٦٠	٢٤,٩١	٦,٧٣
١٠×٧×٨٢×١٨٠	٢٧,٩١	٧,٥٤
١١×٨×٩٠×٢٠٠	٣٤,٣٥	٩,٢٨

thickening تغليظ
trunion مرتكز دوراني

unit operation عمليات فيزيقية موحدة
unit process أساليب كيميائية موحدة
unlimited solubility
ذائبيـــة غير محدودة

vibrating screen منخـــل هزاز
volatile matter مـــادة طيارة
volt فـــلط
voltage فلطيـــة
workability قابلية التشغيل
yield strength مقاومة الخضوع

pouring gate	مصب (سباكة)
powder	مسحوق
precipitation	ترسيب – ترسب
precipitator	مرسب
pretectic reaction	تفاعل بريتكى
pulp	لبـاب
purity	نقـاء ، نقاوة
quartz	كوارتز
quenching	تسقية (تبريد سريع)
reaction energy	طاقـة التفاعل
recovery	استعادة
recrystallization	إعادة التبلور
red mud	طينة حمراء
refining	تنقيـة
reflectivity	انعكاسية
refractories	حراريات
resistance coil	ملف مقاومـة
reverberatory electric furnace	فرن كهربائى عاكس
reverberatory furnance	فرن عاكس
reversible reaction	تفاعل عكسى
roasting	تحميص
rolling	درفـلة
rotary kiln	قينـة دوارة
seed crystal	نواة بلورية
segregation	انعزاليـة
shear strength	مقاومـة القص
sintering	تلبيـد
slip planes	مستويات انزلاق
soaking	تشريب (حرارى)
soda ash	صودا آش (رماد الصودا)
sodium aluminate	ألومينات الصوديوم
solidification	تجمـد
solid solution	محلول جامـد
solidus	خـط الجمود
solubility	ذائبيـة
solute	مذاب
specific heat	الحرارة النوعيـة
squeeze	عصر
steam digester	هاضم بخارى
steam separator	فاصـل البخار
steel bar	قضيب فولاذى
stiffness	كزازة
stress	إجهـاد
superheated steam	بخـار محمص
supersaturated	تشبع مفرط
suspension	معـلق
synthetic	اصطناعى
syphon	مثعب (سيفون)
taphole	فتحـة الصب
tar	قطران
tensile strength	مقاومـة الشد
three-high mill	ماكينة درفلة ثلاثيـة
three phase current	تيـار كهربائى ثلاثى الأطوار (الأوجه)
thermite	ثرميت
thickener	مغـلظ

grain refining تهذيب الحبيبات
graphite جرافيت
grinding طحن
hammer mill
طاحونة مطرقية (طاحونة الشواكيش)
heat treatment معاملة حرارية
heavy metal فلز ثقيل
homogeneity تجانس
hot working تشغيل على الساخن
hydrated alumina ألومينا متميئة
hydroelectric station
محطة كهرومائية

ignition point نقطة الاشتعال
impurities شوائب
Inconel إنكونل (سبيكة إنكونل)
(سبيكة من النيكل والحديد والكروم)
induction حث (كهربائى)
induction transformer محول حثى
inhibitor مثبط (كيميائى)
insoluble غير قابل للذوبان
intergranular بين الحبيبات
ladle بودقة
latent heat حرارة كامنة
leaf filter مرشح ورق
leaf spring ياى ورق
limestone حجر جيرى
lining بطانة
liquidus خط السيولة
low-grade ore خام ردىء الجودة
lubrication تزليق

melting range نطاق انصهارى
mercury arc rectifier
مقوم قوسى زئبق
modulus of elasticity
معامل المرونة
molecular ratio نسبة جزيئية
Monel metal معدن مونل
(سبيكة أساسها النحاس والنيكل)

noble metals معادن نفيسة
nonvariant غير متنوع

open mines مناجم مكشوفة
orange peel قشرة البرتقالة
ore خامة معدنية
oxyacetylene أكسى استيلينى

parallel circuit دائرة على التوازى
peat خث (نوع ردئ من الوقود)
phase صنف (طور)
pile عمود كهربائى – مركم
pitch قار
plastic deformation تشوه لدن
platform منصة
pneumatic piston
كباس بالهواء المضغوط
Poisson's ratio نسبة « بواسون »
pole قطب
polishing تلميع ، صقل
porosity مسامية
potential جهد قطبى

clamp قامطة
classifier مصنف
clay طفل
coke فحم كوك
cold working تشغيل على البارد
complex compound
مركب (كيميائي) معقد
concentration triangle
مثلث التركيز
condenser مكثف
conveyor ناقل
copper rod قضيب نحاس
corrosion تآكل كهروكيميائي
crankcase علبة المرفق
crushing تكسير (خامة معدنية)
cryolite كريولايت
crystal بلورة
crystal pattern نمط بلوري
cylinder head رأس الأسطوانات
decomposition تفكك
dewatering إزالة الماء
diffusion انتشار
digest هضم (احتواء كيميائي)
digester وعاء هاضم
ductility مطيلية
eddying motion حركة دوامية
electrical conductivity
موصلية كهربائية
electric cell خلية كهربائية
electric induction حث كهربائي
electrolysis تحليل بالكهرباء
electrolytic solution
محلول إلكتروليتي
electrode إلكترود
electrolyte إلكتروليت
elongation استطالة
emissivity ابتعاثية
equilibrium diagram
منحنى اتزان حراري
erosion تحات
etching نمش (بمحلول كيميائي)
extrusion بثق
filtration ترشيح
floatation تعويم
flo(u)rides فلوريدات (أملاح الفلور)
fluorspar(Ca Fl_2)
فلورسبار (كا فل٢)
flux عامل صهار (فلكس)
foil رقيقة
forgeability
قابلية التشكيل بالطرق أو الكبس
forging طرق – حدادة
free energy طاقة مطلقة
friction احتكاك
fuel furnace فرن وقود
galvanic corrosion تآكل جلفاني
galvanic pile عمود جلفاني
gas engine محرك بنزين
generator مولد (كهربائي)

(إنجليزى — عربى)

acidity حمضيـة
ageing تعتيق إزمانى
agitator قلاب — مقلاب
alkaline metals فلزات الإقـلاء
allotropic متآصـل — تآصلى
alumina ألومينـا
(aluminum oxide)
(أكسيد الألومنيوم)
aluminum carbide
كربيـد الألومونيوم
aluminum (metallic)
ألومونيوم (فلزى)
aluminum pigs
كتل صغيرة من الألومونيوم
aluminum powder
مسحوق الألومونيوم
anode أنود (مصعـد)
anodic effect تأثير أنودى
annealing تلدين (تخمير)
anthracite
أنثراسيت (نوع من الفحم)
artificial ageing
تعتيق إزمانى اصطناعى
ash رمـاد

autoclave أوتوكلاف
ball mill طاحونة ذات كريات
(طاحونة الكور)
base metal فلز أساسى
bath مصهور (المعـدن)
bauxite بوكسايت
Bayer's process طريقـة باير
bed-plate لوح الأساس
belt conveyor ناقـلة بالسير
binary system مجموعة ثنائيـة
brinell number عدد برينل
brittle قصيف
calcination تكليس ، كلسنة
castability سبكية (قابلية السباكة)
casting سباكة (صب)
cathode كاثود (مهبـط)
cation كاتيون
caustic liquor سائل قلوى
caustic soda صودا كاوية
(Na OH) (ص أ يـد)
caustic solution محلول كاوٍ
chemical compound
مركب كيميائى

سلسلة الأسس التكنولوچية

١ – الكيمياء الصناعية
٢ – أشغال الخشب (النجارة)
٣ – الألكترونيـات
٤ – المخرطـة
٥ – الأمان الصناعى
٦ – براد التجميع
٧ – هندسة الموتوسيكلات
٨ – النظائر فى البحوث والإنتاج
٩ – تشكيل المعادن بدون قطع
١٠ – الأساسيات الكهربائية جـ ١
١١ – الأساسيات الكهربائية جـ ٢
١٢ – هندسـة السيارات
١٣ – هندسة الحرارات
١٤ – الجداول الفنية (–)
١٥ – الرسم الهندسى
١٦ – اللحام بالغاز جـ ١
١٧ – اللحام بالغاز جـ ٢
١٨ – اللحام بالغاز جـ ٣
١٩ – أشغال المعادن
٢٠ – التركيبات الكهربائية
٢١ – أشغال قطع المعادن
٢٢ – تكنولوجيا الألومنيوم جـ ١

(–) نفد وسيعاد طبعه

